Palmira Pečiuliauskienė

Fizika



Palmira Pečiuliauskienė

Fizika

Išplėstinis kursas

Vadovėlis XII klasei

Pirmoji knyga

ŠVIESA KAUNAS

UDK 53(075.3)
Pe23

Redaktorė ZITA ŠLIAVAITĖ

Dailininkė VYTAUTĖ ZOVIENĖ

Lietuvos Respublikos švietimo ir mokslo ministerijos rekomenduota 2009 03 24, Nr. 42

Vadovėlis atitinka kalbos taisyklingumo reikalavimus

Pirmasis leidimas 2009

Palmira Pečiuliauskienė
FIZIKA
Išplėstinis kursas
Vadovėlis XII klasei
Pirmoji knyga

Dailininkė *Vytautė Zovienė*
Dizainerė *Kristina Jėčiūtė*
Redaktorė *Zita Šliavaitė*
Viršelis *Kristinos Jėčiūtės*

Tir. 7000 egz. Leid. Nr. 16 796. Užsak. Nr. 91 201.
Uždaroji akcinė bendrovė leidykla „Šviesa“,
E. Ožeškienės g. 10, LT-44252 Kaunas.
El. p. mail@sviesa.lt
Interneto puslapis http://www.sviesa.lt
Spausdino UAB „Logotipas“,
Utenos g. 41A, LT-08217 Vilnius.
Sutartinė kaina

ISBN 978-5-430-05446-5

Turinys

ELEKTRA

1. Nuolatinė elektros srovė

2. Magnetinis laukas

3. Elektros srovė įvairiose terpėse

4. Elektromagnetinė indukcija

Mielieji mokiniai!

Džiaugiamės, kad pasirinkote išplėstinį fizikos kursą. Jį išmokti padės šis vadovėlis, kurį sudaro dvi knygos. Abiejų knygų mokomoji medžiaga suskirstyta į penkias dalis: „Elektrą“, „Optiką“, „Kvantinę fiziką“, „Atomo fiziką“ ir „Astronomiją“. Kiekviena jų dar skirstoma į skyrius, šie – į temas, o temos – į potemius. Pirmoji knyga apima tik „Elektros“ dalį.

Kiekvienas vadovėlio skyrius pradedamas trumpa jo anotacija ir baigiamas apibendrinimu, t. y. santrauka, kurioje pateikiamos svarbiausios sąvokos, dėsniai, schemos, palyginamosios lentelės, formulės. Ji padės rengiantis savarankiškam ar kontroliniam darbui, taip pat fizikos egzaminui.

Temų pradžioje išvardijamos pagrindinės fizikos sąvokos, kurias turite mokėti išėję temą, toliau potemiais dėstoma nauja mokomoji medžiaga. Potemių pavadinimai yra tarsi savotiškas struktūrinis temos planas. Temų pabaigoje pateikiama klausimų ir užduočių, padedančių įtvirtinti mokomąją medžiagą.

Paskutinė kiekvieno skyriaus tema yra pažintinė ir neprivaloma. Joje pateikta informacija papildo skyriaus medžiagą, susieja ją su praktine patirtimi, artimiausioje aplinkoje vykstančiais reiškiniais, mokslo ir technikos pažanga, praktinėje veikloje kylančiomis ekologinėmis problemomis.

Pagrindinės sąvokos, apibrėžimai ir dėsniai, kuriuos reikia išmokti, vadovėlyje išspausdinti pastorintu pasviru šriftu. Jų nereikia mokytis formuluoti pažodžiui, bet galima aiškinti savais žodžiais. Svarbu perteikti esmę, jos neiškraipyti. Svarbiausios formulės ir matematinės dėsnių išraiškos vadovėlyje išskirtos spalviniu fonu.

Sunkesnės temos papildytos skyreliais „Mokomės spręsti uždavinius“. Remdamiesi juose pateiktais uždavinių sprendimo pavyzdžiais, galėsite sėkmingai atlikti tų skyrelių pabaigoje esančias užduotis savarankiškam darbui. Jų ir kitų užduočių atsakymai pateikti šalia mažesniu šriftu. Sudėtingesni uždaviniai pažymėti simboliu *.

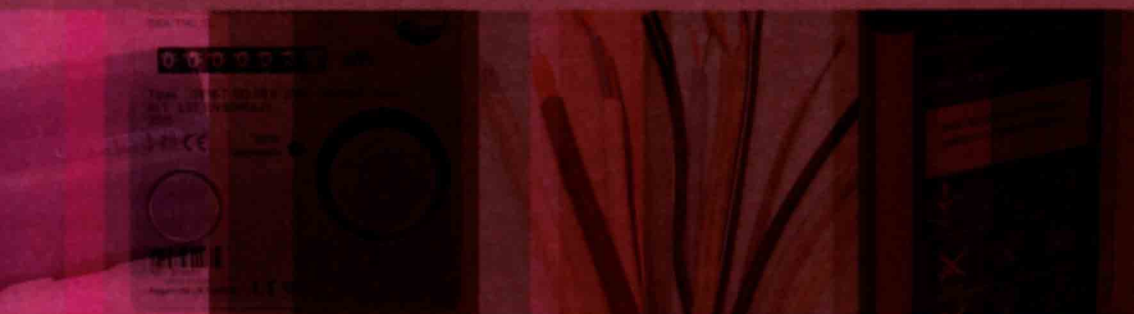
Vadovėlyje gausu įvairių iliustracijų: piešinių, nuotraukų, schemų, grafikų. Jos papildo tekstinę medžiagą ir padeda lengviau perprasti nagrinėjamą temą.

Įsidėmėję šiuos vadovėlio struktūros ir mokomosios medžiagos pateikimo ypatumus, galėsite lengviau naudotis vadovėliu ir geriau perprasite mokomąją medžiagą.

Sėkmingo darbo!



E l e k t r a





1 Nuolatinė elektros srovė

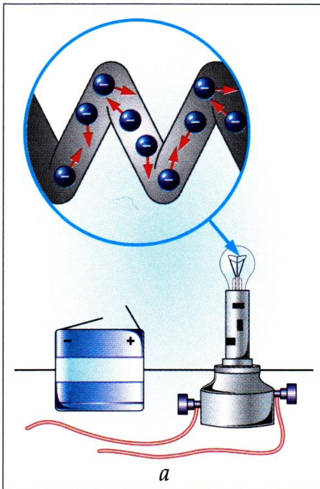
Šiame skyriuje prisiminsite, ką pagrindinėje mokykloje sužinojote apie nuolatinę elektros srovę, elektros srovės stiprį, Omo dėsnį grandinės daliai, ir tas žinias papildysite. Nagrinėsite laidininkų jungimo būdus, elektros srovės šaltinius, Omo dėsnį uždarajai grandinei, elektros srovės atliekamą darbą ir galią.

1.1. Elektros srovė ir jos stipris

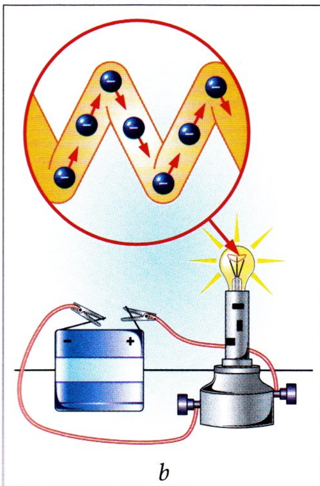
Pagrindinės sąvokos

Elèktros srovẽ,
elèktros srovẽs stìpris,
nuolatìnė elèktros srovẽ,
elèktros srovẽs kryptìs.

1.1.1 pav.



a

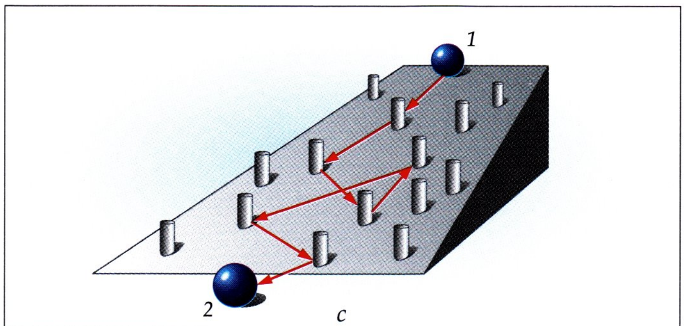


b

Elektros srovė ir jos atsiradimo sąlygos

Išgirdus žodį „srovė“, prieš akis dažniausiai iškyla tekančios upės ar iš čiaupo bėgančio vandens vaizdas. Sunkiau įsivaizduojame elektros srovę, tekančią laidininkais.

Kaip žinome, geriausi laidininkai yra metalai. Juose teigiamuosius jonus supa laisvieji elektronai. Kai elektrinio lauko laidininke nėra, pavyzdžiui, kai elektros lemputė neįjungta (1.1.1 pav., *a*), laisvieji elektronai volframiniame jos siūlelyje juda netvarkingai (šiluminis judėjimas). Šiuo atveju elektros srovė lempute neteka. Taigi elektros srovei atsirasti vien laisvųjų elektringųjų dalelių nepakanka. Tvarkingam dalelių judėjimui palaikyti dar reikia jėgos, kuri jas veiktų tam tikra kryptimi. Žinome, kad elektrinis laukas veikia elektringąsias daleles elektrine jėga $\left(\vec{F} = \vec{E}q\right)$. Vadinasi, norint priversti šias daleles judėti laidininku kryptingai, reikia sukurti jame elektrinį lauką – prie laidininko galų prijungti elektros srovės šaltinį. Laidininke atsiradęs elektrinis laukas sukels ir palaikys kryptingą laisvųjų elektringųjų dalelių judėjimą (1.1.1 pav., *b*). Tai supaprastintas elektronų judėjimo modelis. Realus jų judėjimas yra sudėtingesnis. Elektronų judėjimą galima palyginti su rutuliuko judėjimu (1.1.1 pav., *c*).



c

Elèktros srovè vadinamas kryptingas laisvųjų elektringųjų dalelių judėjimas. Nustatyta, kad kryptingo elektronų judėjimo greitis laidininkuose yra labai mažas, vos $7 \cdot 10^{-5}$ m/s. Tokiu greičiu buto instaliacijos laidais ima judėti elektronai, įjungus elektros jungiklį.

Apibendrinant galima teigti, kad elektros srovei atsirasti reikia dviejų sąlygų:

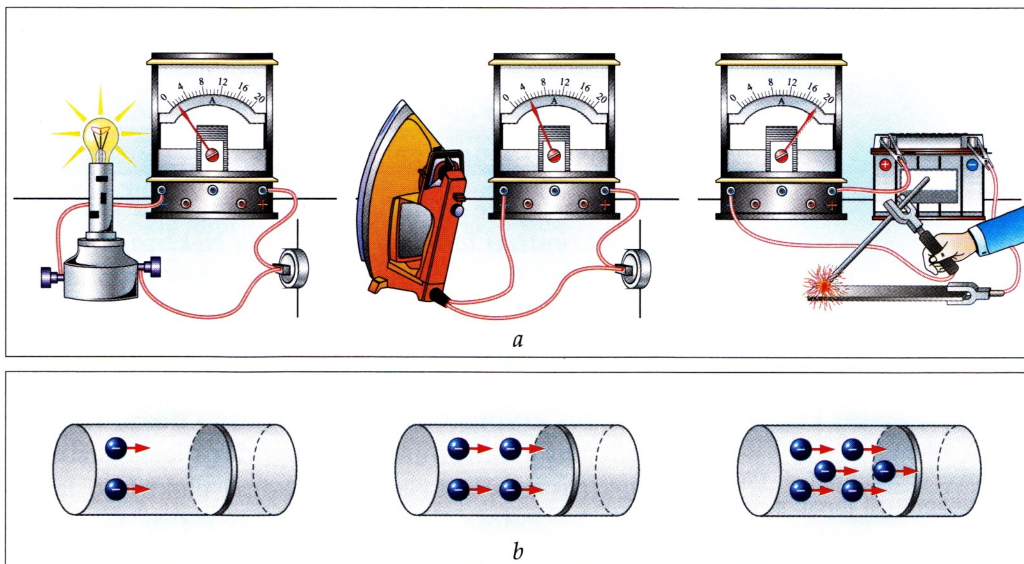
- laisvųjų elektringųjų dalelių (krūvininkų);
- elektrinio lauko.

Elektros srovės stipris

Prisiminti elektros srovės stiprio apibrėžimą padės geografijos žinios apie vandens debìtą, t. y. vandens kiekį, pratekantį upės, vamzdžio ir pan. skerspjūviu per vienetinį laiką. Žinodami jį, galime įvertinti, kiek vandens pratekės per mums rūpimą laikotarpį. Lietuvõs upių vandens debitas yra skirtingas. Didžiausios Lietuvõs upės Nẽmuno vidutinis daugiametis vandens debitas žemupyje (iki išsišakojimo deltoje) lygus 665 m³/s, o Neriẽs debitas žiotyse – 189 m³/s. Vadinasi, Nẽmuno skerspjūviu per vienetinį laiką pereina daugiau vandens negu Neriẽs skerspjūviu.

Skirtingomis elektrinėmis grandinėmis dažniausiai teka nevienoda elektros srovė. Tikriausiai ne kartą girdėjote sakant „stipri elektros srovė“, „silpna elektros srovė“. 1.1.2 paveiksle, *a*, pavaizduotos trys gran-

1.1.2 pav.



dinės, kuriomis teka skirtingo stiprio elektros srovė. Elektros srovės stipris priklauso nuo to, kiek elektronų pereina laidininko skerspjūviu per vienetinį laiką (1.1.2 pav., *b*). Kuo daugiau jų pereina, tuo stipresnė srovė. Kadangi kiekvienas elektronas turi elektros krūvį, tai per vienetinį laiką perkeltas elektros krūvis yra pagrindinė kiekybinė srovės charakteristika, vadinama elektros srovės stipriu. ***Elèktros srovė̃s stìpris (I) lygus elektros krūvio (Δq), pratekančio laidininko skerspjūviu per tam tikrą laiką (Δt), ir to laiko santykiui:***

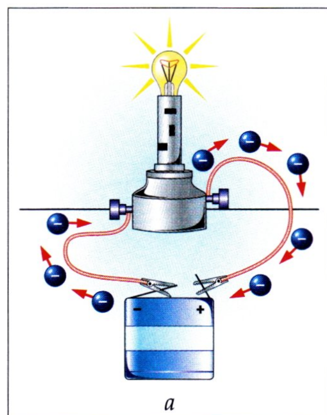
$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}. \quad (1.1)$$

Elektros srovė, kurios stipris ir kryptis ilgainiui nekinta, vadinama nuolatinė.

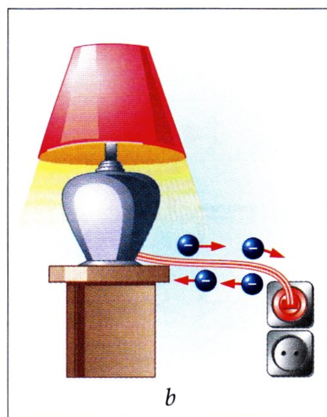
Tarptautinėje sistemoje (SI) pagrindinis srovės stiprio matavimo vienetas yra *ampèras* (A). Jis nustatomas remiantis magnetine srovių sąveika, kurią aptarėte IX klasėje: elektros srovės stiprio vienetu laikoma tokio stiprio srovė, kuriai tekant dviem be galo ilgais lygiagrečiais laidais, nutolusiais vakuume vienas nuo kito 1 m atstumu, vieno laido kiekvienas metras veikia kito laido kiekvieną metrą $2 \cdot 10^{-7}$ N jėga. Vartojami taip pat daliniai ir kartotiniai srovės stiprio vienetai: *mikroampèras* (μA), *miliampèras* (mA), *kiloampèras* (kA). Su pagrindiniu vienetu jie susiję taip:

$$1\ \mu A = 10^{-6}\ A,$$
$$1\ mA = 10^{-3}\ A,$$
$$1\ kA = 10^{3}\ A.$$

1.1.3 pav.



a



b

Elektros srovės kryptis

Elektros srovė grandinėje teka tam tikra kryptimi. ***Srovės kryptimi laikoma teigiamųjų elektringųjų dalelių judėjimo kryptis.*** Toks elektros srovės krypties pasirinkimas nelabai vykęs, nes srovė dažniausiai yra elektronų – neigiamųjų elektringųjų dalelių – judėjimas (1.1.3 pav.[1]). Painiava atsirado dėl to, kad elektros srovės kryptis buvo pasirinkta tuo metu, kai apie laisvuosius elektronus metaluose dar nieko nežinota.

Elektros srovės kryptimi laikoma elektrinio lauko laidininko viduje kryptis (1.1.4 pav.), t. y. kryptis iš srovės šaltinio teigiamojo poliaus į neigiamąjį[2].

[1] Kai prietaisas yra įjungtas į kintamosios įtampos tinklą (50 Hz dažnio), elektronų judėjimo kryptis per 1 s pasikeičia 100 kartų.

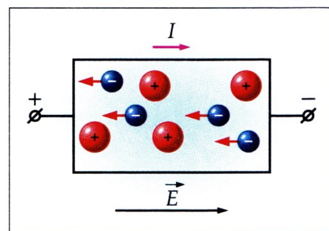
[2] Paveiksle ženklu + pažymėti teigiamieji jonai, išsidėstę kristalinės gardelės mazguose.

Elektros srovės veikimas

Elektringųjų dalelių judėjimo laidininkais tiesiogiai nematome, tačiau apie elektros srovę galime spręsti iš tam tikrų su ja susijusių reiškinių. Pavyzdžiui, palietę ką tik išjungtą elektros lemputę, jaučiame, kad ji karšta. Šis ir kiti pavyzdžiai rodo, kad laidininkas, kuriuo teka srovė, įšyla.

Elektros srovė gali keisti cheminę laidininko sudėtį, išskirti sudedamąsias jo dalis. Tuo galėjote įsitikinti per chemijos pamokas nagrinėdami elektrolìzės reiškinį.

Elektros srovė veikia gretimais laidininkais tekančią srovę ir įmagnetintus kūnus: magnetinė rodyklė arti laidininko, kuriuo teka elektros srovė, pasisuka. Apie šį elektros srovės veikimą kalbėjote žemesnėse klasėse.



1.1.4 pav.

Klausimai ir užduotys

1. Ką vadiname elektros srove?

2. Apibrėžkite elektros srovės stiprį. Nurodykite jo matavimo vienetus.

3. Kokia kryptis laikoma elektros srovės kryptimi?

4. Kaip pagal elektrinio lauko laidininko viduje kryptį galima nustatyti tuo laidininku tekančios elektros srovės kryptį?

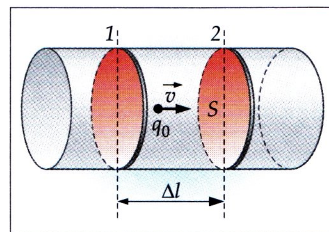
5. Kokių sąlygų reikia elektros srovei atsirasti?

6. Apibūdinkite laisvųjų elektringųjų dalelių judėjimą laidininke, kuriuo teka elektros srovė.

7. Per 20 s laidininko skerspjūviu perėjo 4 C elektros krūvis. Kokio stiprio elektros srovė tekėjo šiuo laidininku? (0,2 A)

8. Įrodykite, kad laidininku (1.1.5 pav.) tekančios elektros srovės stiprį I galima išreikšti vienos elektringosios dalelės krūvio q_0, dalelių judėjimo greičio v, koncentracijos n ir laidininko skerspjūvio ploto S sandauga:

$$I = q_0 n v S. \quad (1.2)$$



1.1.5 pav.

1.2. Elektrinė varža. Omo dėsnis grandinės daliai

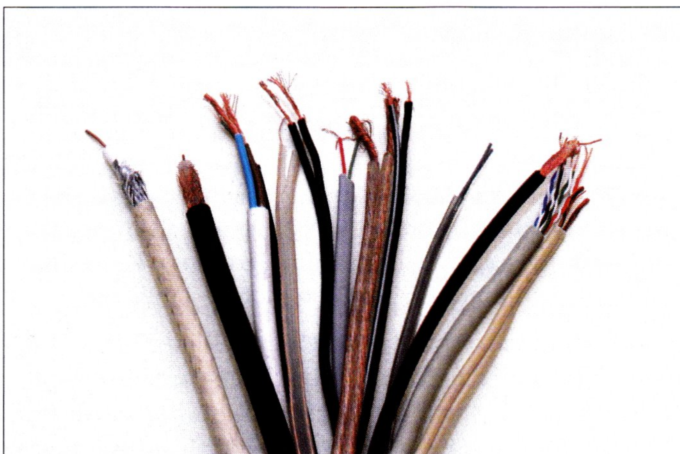
Pagrindinės sąvokos

Elektrìnė varžà,
savitóji elektrìnė varžà,
voltampèrinė laĩdininko charakterìstika.

Elektrinė varža

Elektronų judėjimą laidininkais panagrinėkime elektringųjų dalelių sąveikos aspektu. Žinome, kad, nesant elektrinio lauko, laisvieji elektronai metalo kristale juda netvarkingai. Veikiami elektrinio lauko, jie ima judėti viena kryptimi, taigi laidininke atsiranda elektros srovė. Elektronai savo kelyje sutinka kliūtis – kristalinės gardelės mazguose esančius teigiamuosius jonus. Kas tuomet atsitinka? Laisvieji elektronai atiduoda jonams dalį savo kinetinės energijos, kurią įgijo veikiami elektrinio lauko. Sumažėjus energijai, sumažėja elektronų greitis, o kartu ir elektros srovės stipris (žr. 1.2 formulę). Taip laidininke atsiranda pasipriešinimas elektros srovės tekėjimui. Jį lemia laidininko vidinė sandara ir matmenys. ***Fizikinis dydis, apibūdinantis laidininko pasipriešinimą elektros srovės tekėjimui, vadinamas laidininko elektrinè varžà.*** Ji yra kiekvieno laidininko pagrindinė elektrinė charakteristika. Nuo laidininko varžos priklauso elektros srovės stipris, esant tam tikrai įtampai. Varža yra tarytum laidininko pasipriešinimo jame atsirandančiai elektros srovei matas. Kaip mechani-

1.2.1 pav.



koje trintis trukdo kūnams judėti, taip laidininko varža priešinasi kryptingam elektronų judėjimui.

Elektrinė varža priklauso nuo laidininko matmenų ir medžiagos, iš kurios jis padarytas (1.2.1 pav.). Laidininko, kurio ilgis l, o skerspjūvio plotas S, varža išreiškiama formule

$$R = \frac{\rho l}{S}; \qquad (1.3)$$

čia ρ – ***savitóji elektrìnė varžà***. Ji priklauso nuo laidininko medžiagos rūšies ir būsenos. Primename, kad savitoji varža nustatoma bandymais, imant 1 m ilgio ir 1 mm^2 skerspjūvio ploto vielas. Įvairių medžiagų savitosios varžos skaitinės vertės pateikiamos vadovėlio prieduose (žr. p. 252).

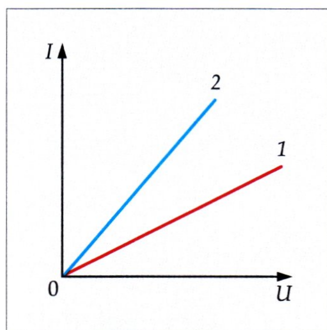
Savitosios elektrinės varžos matavimo vienetas yra *òmas iš mètro* ($\Omega \cdot m$). Kadangi įvairių laidininkų skerspjūvio plotą patogiau reikšti kvadratiniais milimetrais, o ilgį – metrais, praktikoje dažnai vartojamas kitas vienetas, vadinamas *omù iš kvadrãtinio milimètro mètrui* ($\Omega \cdot mm^2/m$).

IX klasėje sužinojote, kaip bandymais galima nustatyti, kad laidininko elektrinė varža yra tiesiogiai proporcinga laidininko ilgiui ir atvirkščiai proporcinga jo skerspjūvio plotui. Tačiau šiuos teiginius nesunku įrodyti teoriškai, remiantis medžiagos sandara. Laidininko skerspjūvio ploto įtaką varžai galima paaiškinti taip: kuo mažesnis skerspjūvio plotas, tuo didesnio tankio elektronų srautas sukelia laidininke to paties stiprio srovę. Vadinasi, tuo stipriau elektronai sąveikauja su kristalinės gardelės jonais ir tuo didesnė laidininko varža. Laidininko ilgio įtaka varžai aiškinama taip: kuo ilgesnis laidininkas, tuo daugiau gardelės jonų, stabdančių judėjimą, savo kelyje sutinka elektronai. Dėl to laidininko varža padidėja.

Omo dėsnis grandinės daliai

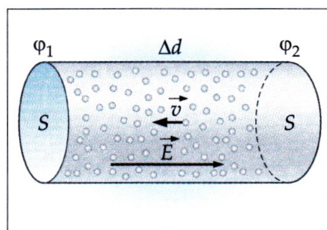
Apie šį dėsnį sužinojote mokydamiesi fizikos IX klasėje. Dabar tas žinias papildysime.

Vokiečių fizikas Georgas Omas (*Georg Ohm*, 1787–1854) 1827 m. bandymais įrodė, kad laidininkais tekančios elektros srovės stipris yra tiesiogiai proporcingas įtampai ($I \sim U$). Nors Omo dėsnis labai



1.2.2 pav.

paprastas, tačiau įrodyti jį bandymais nelengva. Potencialų skirtumas metalinio laidininko dalyje yra mažas net ir tada, kai teka stipri srovė, esant mažai laidininko varžai. Srovės stiprio priklausomybei nuo įtampos tirti Omas pagamino jautrų srovės stiprio matavimo prietaisą, o kaip įtampos šaltinį naudojo termopõrą – du sulituotus laidininkus, pagamintus iš skirtingų metalų. Didindamas sulituotų vietų temperatūrų skirtumą, Omas keitė įtampą (potencialų skirtumą) ir matavo srovės stiprį. Kuria nors grandinės dalimi tekančios elektros srovės stiprio priklausomybė nuo tos dalies įtampos vadinama ***voltampèrine laĩdininko charakterìstika***. Ji nustatoma matuojant srovės stiprį laidininke, kai įtampos vertės yra įvairios. Metalinių laidininkų (*1* ir *2*) voltamperinių charakteristikų grafikai (1.2.2 pav.) yra tiesės, einančios per koordinačių pradžią.



1.2.3 pav.

Voltamperinę laidininko charakteristiką galima paaiškinti remiantis elektrinio lauko sąvoka ir medžiagos sandara (1.2.3 pav.). Kuo didesnis potencialų skirtumas ($\varphi_1 > \varphi_2$), arba įtampa, tuo stipresnis elektrinis laukas sukuriamas laidininke $\left(E = \dfrac{U}{\Delta d}\right)$. Vadinasi, tuo didesnį kryptingo judėjimo greitį įgyja elektronai. Kadangi $I \sim v$ ($I = q_0 nvS$), tai, padidėjus greičiui, elektros srovė sustiprėja.

Omo dėsnis grandinės daliai formuluojamas taip: ***elektros srovės stipris (I) grandinės dalyje yra tiesiogiai proporcingas tos dalies įtampai (U) ir atvirkščiai proporcingas varžai (R)***. Užrašykime jį, vartodami sutartinius ženklus:

$$I = \frac{U}{R}. \tag{1.4}$$

Šis dėsnis taikomas tik tai grandinės daliai, kurioje nėra srovės šaltinio. Pagal Omo dėsnį galima apskaičiuoti laidininko varžą:

$$R = \frac{U}{I}. \tag{1.5}$$

Tereikia išmatuoti įtampą ir srovės stiprį. Tačiau nei nuo įtampos, nei nuo srovės stiprio laidininko varža nepriklauso.

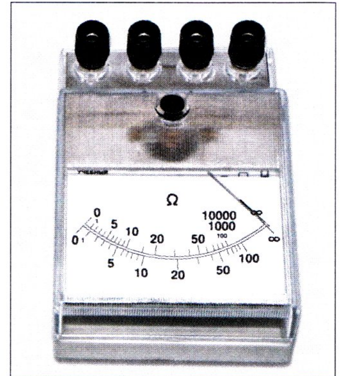
Iš 1.5 formulės nesunku sužinoti elektrinės varžos matavimo vienetą:

$$[R]=\frac{1\ \text{V}}{1\ \text{A}}=1\ \frac{\text{V}}{\text{A}}=1\ \Omega.$$

SI sistemoje šis vienetas vadinamas *omù*. Grandinės dalies varža prilyginama 1 Ω, jeigu, ta dalimi tekant 1 A stiprio elektros srovei, tarp tos dalies galų atsiranda 1 V įtampa.

Ommetras

Laidininko varžą galima išmatuoti specialiu prietaisu, vadinamu ommetrù (1.2.4 pav.). Jis iš karto parodo laidininko varžą. Į ommetro sudėtį įeina jautrus srovės stiprio matavimo prietaisas (miliampermètras arba mikroampermètras), turintis omais sužymėtą skalę. Prie ommetro gnybtų prijungiamas laidininkas, kurio varžą reikia išmatuoti. Kuo mažesnė laidininko varža, tuo didesniu kampu nukrypsta ommetro rodyklė. Kai grandinė išjungta, laidininko elektrinė varža artėja prie begalybės, o srovės stipris – prie nulio. Todėl ommetro skalės pradžioje pažymėta begalybė, o pabaigoje – nulis.



1.2.4 pav.

Kita Omo dėsnio išraiška

Omo dėsnį galima užrašyti ir kitaip:

$$U = IR. \tag{1.6}$$

Taigi įtampa lygi srovės stiprio ir elektrinės varžos sandaugai. Tačiau ši formulė neatskleidžia įtampos fizikinės prasmės, nagrinėtos XI klasėje. Primename, kad įtampa – tai darbas, kurį atlieka elektrinis laukas, perkeldamas grandinės dalimi vienetinį krūvį, kitaip tariant, elektros energija, išeikvojama toje grandinės dalyje, pereinant vienetiniam krūviui.

Klausimai ir užduotys

1. Remdamiesi medžiagos sandara, paaiškinkite, kodėl laidininkas priešinasi elektros srovės tekėjimui.

2. Suformuluokite Omo dėsnį grandinės daliai.

3. Nubraižykite kokybines šių dydžių priklausomybes:
a) srovės stiprio priklausomybę nuo įtampos, kai varža pastovi;
b) srovės stiprio priklausomybę nuo varžos, kai įtampa pastovi.

4. Ką vadiname laidininko savitąja elektrine varža? Kokie yra jos matavimo vienetai?

5. Apskaičiuokite 3 m ilgio ir 0,5 mm^2 skerspjūvio ploto nikelinio laido varžą. (2,4 Ω)

6. 1 m ilgio ir 0,25 mm^2 skerspjūvio ploto vielos varža yra 2 Ω. Iš kokios medžiagos pagaminta viela?
(Iš konstantano)

7. Elektros srovė teka 10 m ilgio ir 2 mm^2 skerspjūvio ploto plieniniu laidininku, prijungtu prie 12 mV įtampos šaltinio. Apskaičiuokite elektros srovės stiprį grandinėje.
(20 mA)

8. Varinio laidininko varža 0,2 Ω, o masė 0,2 kg. Vario tankis 8900 kg/m^3. Apskaičiuokite laidininko skerspjūvio plotą ir ilgį. (1,4 mm^2; 15,8 m)

9. 1.2.2 paveiksle pavaizduotos dviejų laidininkų voltamperinės charakteristikos. Palyginkite tų laidininkų elektrinę varžą.

1.3. Elektrinės grandinės. Nuoseklusis ir lygiagretusis laidininkų jungimas

Pagrindinės sąvokos

Elektrìnė grandìnė, elektrìnė schemà, nuoseklùsis laĩdininkų jungìmas, lygiagretùsis laidininkų jungìmas, pilnutìnė varžà, grandìnės mãzgas, grandìnės šakà.

Elektrinės grandinės

Srovės šaltinio energiją reikia laidais perduoti elektros energijos imtuvams: elektros lemputei, radijo imtuvui. Dėl to jungiamos įvairios elektrinės grandinės. ***Elektrìnę grandìnę sudaro srovės (energijos) šaltinis, jungiamieji laidai, elektros energijos imtuvai ir jungikliai.*** Elektrinės grandinės būna paprastos (kišeninio žibintuvėlio, mokyklinių elektros kurso labora-

torinių darbų) ir sudėtingos (automobilio, gamyklos ir pan.).

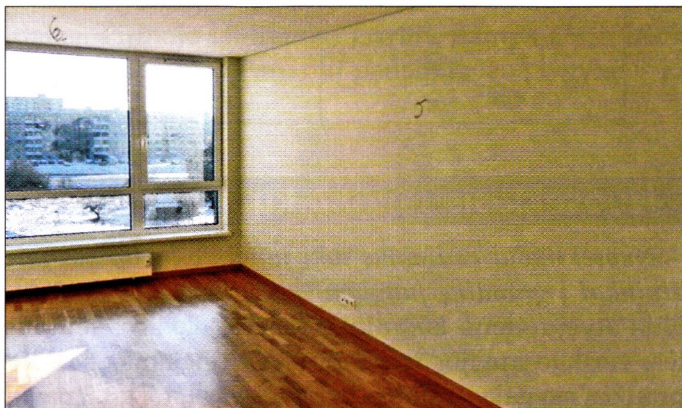
Su elektros srovės šaltiniais susipažinote IX klasėje. Primename, kad jie yra būtina srovės atsiradimo sąlyga. Daugiau apie juos sužinosite perskaitę vadovėlio temą „Nuolatinės elektros srovės šaltiniai. Elektrovara" (žr. p. 33).

Elektros energijos imtuvais vadiname įvairiausius elektrinius prietaisus ir įrenginius. Paprasčiausi iš jų yra elektros lemputė, lygintuvas, elektrinė viryklė, sudėtingesni – elektros variklis, televizorius, radijo imtuvas, skalbyklė, kompiuteris, sudėtinga automatinė linija ir pan.

Jungiamieji laidai jungia elektros energijos imtuvus su srovės šaltiniais. Mokykloje, atlikdami laboratorinius darbus, jungiamuosius laidus matote, juos liečiate jungdami grandines. O buto elektrinės grandinės jungiamieji laidai dažniausiai yra nematomi. Jie įmontuoti pastato sienose (1.3.1 pav.). Jungiamieji laidai gamyklose – sudėtingos kabelinės linijos.

Į elektrines grandines dažnai jungiami įvairūs matavimo prietaisai: ampermètrai, voltmètrai. Prie jų priskiriamas ir elektros skaitiklis. Prisiminkime, kad ampermetras į grandinę jungiamas nuosekliai, o voltmetras – lygiagrečiai.

Iš patirties žinote, kad statybininkai stato namus, tiltus ir kitus objektus, vadovaudamiesi sudarytais brėžiniais. Pagal panašius brėžinius, vadinamąsias elektrines schemas, jungiamos ir elektrinės grandinės. ***Elektrìnė schemà – tai brėžinys, kuriame sutartiniais ženklais pažymėti elektriniai prietaisai ir jų jungimo būdai.***



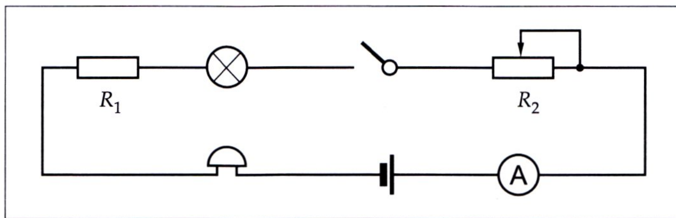
1.3.1 pav.

Lentelėje pateikiame kai kurių prietaisų sutartinius ženklus:

Grandinės dalies pavadinimas	Jos paveikslas	Sutartinis ženklas
Kaĩtinamoji lémpa		
Sujungtì laidaĩ		
Susìkertantys laidaĩ		
Gnýbtai		
Jungìklis		
Ampermètras		
Elektrìnis skambùtis		
Voltmètras		
Galvãninis elemeñtas, elemeñtų batèrija		
Va͂ržas (rezìstorius)		
Šliaužìklinis reostãtas		
Saugìklis		

Nuoseklusis laidininkų jungimas

Nuosekliúoju vadiname tokį jungimo būdą, kai laidininkai į grandinę jungiami paeiliui vienas po kito. Šiuo atveju vieno laidininko (varžo, elektros lemputės, variklio apvijos ir pan.) galas jungiamas su kito pradžia, šio galas – su trečio pradžia ir t. t. (1.3.2 pav.).



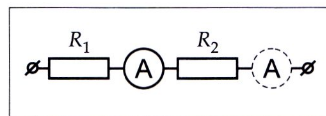
1.3.2 pav.

Taip sudaroma elektrinė grandinė, kuri neturi atšakų. Srovės stipris, įtampa ir varža joje skaičiuojama remiantis nuosekliojo jungimo taisyklėmis.

1 taisyklė. ***Nuosekliosios grandinės dalimis teka vienodo stiprio elektros srovė:***

$$I = I_1 = I_2. \quad (1.7)$$

Praktiškai tuo galima įsitikinti įjungiant ampermetrą skirtingose grandinės vietose (1.3.3 pav.). Jo rodmenys sutaps. Šį reiškinį nesunku paaiškinti remiantis laidininkų sandara. Judėdami laidininku, elektronai niekur nesikaupia ir niekur nedingsta. Per tą patį laiką visose grandinės vietose laidininko skerspjūviu pereina tiek pat elektronų.

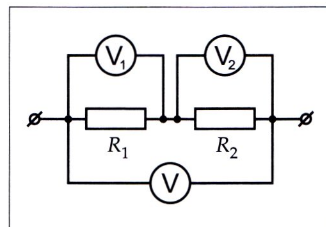


1.3.3 pav.

2 taisyklė. ***Nuosekliosios grandinės įtampa lygi atskirų dalių įtampų sumai:***

$$U = U_1 + U_2. \quad (1.8)$$

Tai galima patikrinti atliekant bandymą pagal 1.3.4 paveiksle pavaizduotą schemą. Voltmetrų V_1 ir V_2 rodmenų suma bus lygi voltmetro V rodmeniui. 2 taisyklė išplaukia iš energijos tvermės dėsnio.



1.3.4 pav.

3 taisyklė. ***Nuosekliosios grandinės atskirų dalių įtampos yra tiesiogiai proporcingos jų varžoms.***

Ši taisyklė gaunama taikant Omo dėsnį grandinės daliai. Pirmojo laidininko gnybtų įtampa $U_1 = IR_1$, o antrojo $U_2 = IR_2$. Panariui padaliję vieną lygybę iš kitos, gauname:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}. \quad (1.9)$$

4 taisyklė. ***Nuosekliosios grandinės pilnutinė varža lygi atskirų dalių varžų sumai.***

Ši taisyklė gaunama remiantis 2 taisykle ir Omo dėsniu grandinės daliai:

$$IR = IR_1 + IR_2. \quad (1.10)$$

Abi lygybės puses padaliję iš srovės stiprio I, gauname lygtį

$$R = R_1 + R_2. \quad (1.11)$$

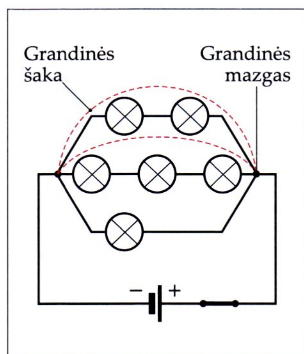
Pilnutinė grandinės varža R dar vadinama ekvivaleñtine varžà.

Kai į grandinę nuosekliai sujungiama keletas vienodos varžos laidininkų, pilnutinė grandinės varža apskaičiuojama dauginant vieno laidininko varžos vertę R_0 iš laidininkų skaičiaus n:

$$R = nR_0. \quad (1.12)$$

Reikia prisiminti, kad, atjungus vieną iš nuosekliai sujungtų grandinės dalių (imtuvų), elektros srovė nutrūksta ir visoje grandinėje. Todėl nuoseklusis laidininkų jungimas ne visada patogus.

Lygiagretusis laidininkų jungimas



1.3.5 pav.

Jungiant elektrines grandines, viename taške kartais tenka sujungti kelis grandinės elementų gnybtus (1.3.5 pav.). Taškas, į kurį sueina daugiau kaip du gnybtai, vadinamas ***grandìnės mazgù***. ***Lygiagrečiúoju vadinamas toks jungimo būdas, kai vieni grandinės elementų gnybtai jungiami į vieną mazgą, o kiti – į kitą mazgą.*** Visi lygiagrečiai sujungti laidininkai sudaro išsìšakojusią dalį, o kiekviena jų vadinama ***grandìnės šakà*** (1.3.5 pav.). Skaičiuojant elektros srovės stiprį, įtampą ir varžą lygiagrečiojoje grandinėje, tenka remtis tokiomis taisyklėmis.

1 taisyklė. ***Visų lygiagrečiai sujungtų grandinės šakų įtampa yra vienoda:***

$$U_1 = U_2 = U_3 = U. \quad (1.13)$$

Šią taisyklę galima patvirtinti bandymais. Teoriškai ji pagrindžiama energijos tvermės dėsniu.

2 taisyklė. ***Į grandinės mazgą įtekanti srovė (arba įtekančių srovių suma) lygi iš jo ištekančių srovių sumai:***

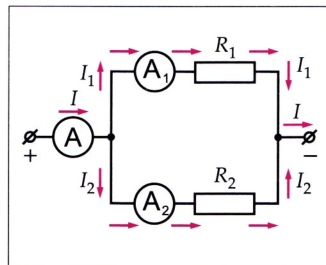
$$I = I_1 + I_2 + I_3. \quad (1.14)$$

Šią taisyklę paaiškinti nesunku: grandinės mazguose krūvis ($\Delta q = I\Delta t$) nesikaupia. Ją taip pat galima pa-

tvirtinti bandymu, kuris atliekamas sujungus grandinę pagal 1.3.6 paveiksle pavaizduotą schemą.

3 taisyklė. ***Atskiromis šakomis tekančių srovių stipriai yra atvirkščiai proporcingi tų šakų varžoms:***

$$\frac{I_1}{I_2}=\frac{R_2}{R_1}. \tag{1.15}$$



1.3.6 pav.

Ji įrodoma remiantis Omo dėsniu grandinės daliai ir 1.13 lygtimi.

4 taisyklė. ***Kai laidininkai sujungti lygiagrečiai, fizikinis dydis, atvirkščias pilnutinei grandinės dalies varžai, lygus sumai dydžių, atvirkščių lygiagrečiai sujungtų laidininkų varžoms[1]:***

$$\frac{1}{R}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}. \tag{1.16}$$

Įrodykime. Laidininkai sujungti lygiagrečiai, todėl

$$I = I_1 + I_2.$$

Atsižvelgę į Omo dėsnį grandinės daliai, gauname:

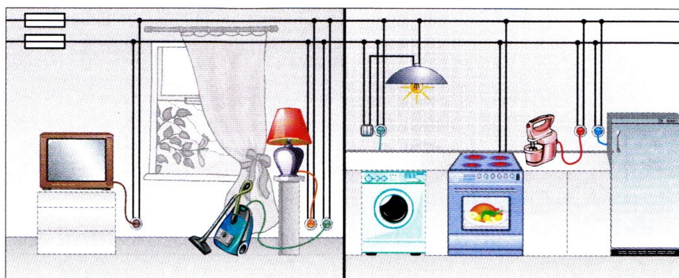
$$\frac{U}{R}=\frac{U}{R_1}+\frac{U}{R_2}.$$

Abi puses padaliję iš U, gauname 1.16 lygtį.

Kai visų (n) lygiagrečiai sujungtų laidininkų varža (R_0) yra vienoda, pilnutinė grandinės varža

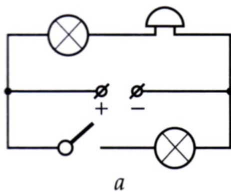
$$R=\frac{R_0}{n}. \tag{1.17}$$

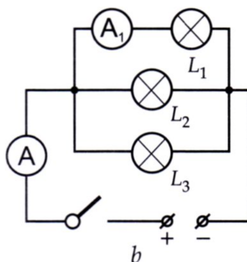
Praktikoje elektros imtuvus patogu jungti lygiagrečiai. Taip jungiamos apšvietimo lempos ir buitiniai elektriniai prietaisai (1.3.7 pav.). Jeigu įtampa tarp mazgų nekinta, atskiromis šakomis tekančios srovės nepriklauso vienos nuo kitų.

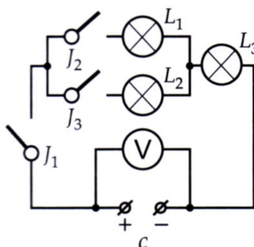


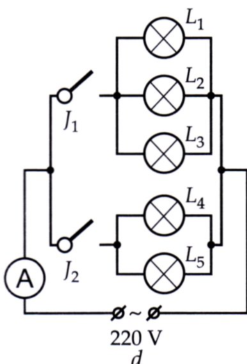
1.3.7 pav.

[1] Fizikinis dydis, atvirkščias elektrinei varžai, vadinamas elektriniu laidžiu.









1.3.8 pav.

Klausimai ir užduotys

1. Nupieškite elektrinės grandinės, sudarytos iš trijų nuosekliai sujungtų varžų ir srovės šaltinio, schemą. Joje sutartiniais ženklais pažymėkite srovės stiprio ir įtampos matavimo prietaisus. Suformuluokite nuosekliojo jungimo taisykles.

2. Nupieškite elektrinės grandinės, sudarytos iš trijų lygiagrečiai sujungtų varžų ir srovės šaltinio, schemą. Joje sutartiniais ženklais pažymėkite srovės stiprio ir įtampos matavimo prietaisus. Suformuluokite lygiagrečiojo jungimo taisykles.

3. Susipažinusi su laidininkų jungimo taisyklėmis, Jurgita sumanė paeksperimentuoti su kalėdinės eglutės girlianda. Nustatykite, kaip pakito girliandos lempučių šviesos stipris, kai Jurgita:

a) įjungė dar vieną papildomą lemputę;

b) išėmė vieną lemputę ir jos vietoje sujungė kontaktus.

4. Įrodykite lygiagrečiojo laidininkų jungimo 3 taisyklę, reiškiamą lygtimi $\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$.

5. Remdamiesi 1.3.8 paveiksle pavaizduotomis elektrinėmis schemomis, atsakykite į klausimus:

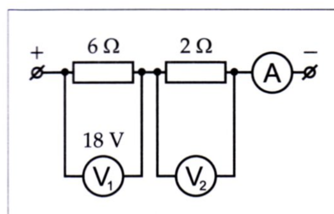
a) kokie prietaisai pavaizduoti schemose;

b) kuriuos imtuvus išjungia (arba įjungia) jungiklis?

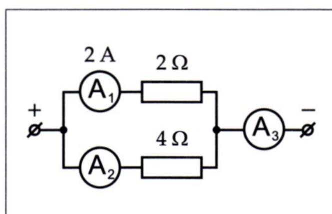
6. Remdamiesi 1.3.9 paveiksle pateiktais duomenimis, apskaičiuokite ampermetro A ir voltmetro V_2 rodmenis. (3 A; 6 V)

7. Remdamiesi 1.3.10 paveiksle pateiktais duomenimis, apskaičiuokite ampermetrų A_2 ir A_3 rodmenis. (1 A; 3 A)

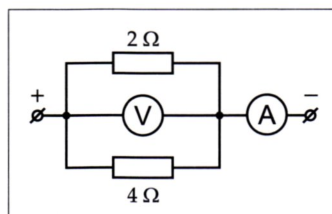
8. 1.3.11 paveiksle pavaizduotas voltmetras rodo 8 V. Pagal paveiksle pateiktus duomenis nustatykite, koks yra ampermetro rodmuo. (6 A)



1.3.9 pav.



1.3.10 pav.



1.3.11 pav.

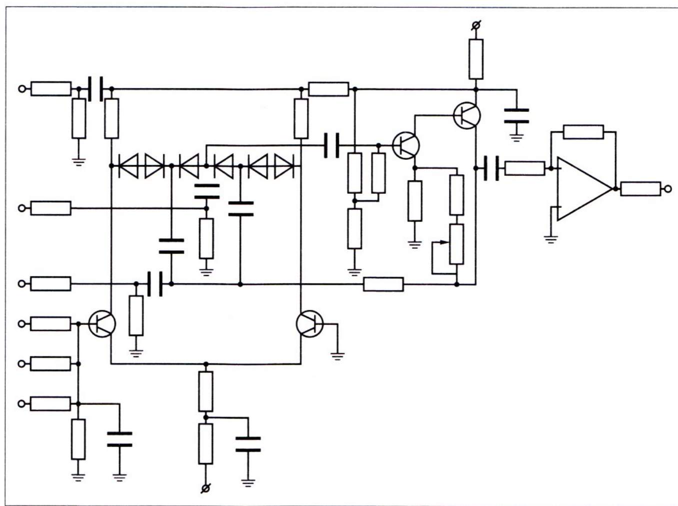
1.4. Mišrusis laidininkų jungimas

Mišriojo laidininkų jungimo samprata

Pagrindinės sąvokos

Mišrùsis laĩdininkų jungìmas.

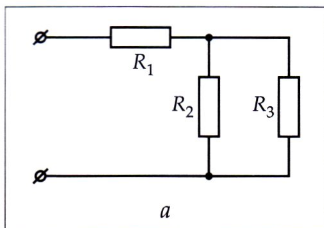
Jei teko domėtis nusipirkto elektrinio prietaiso dokumentais (vadinamuoju prietaiso pasu), turėjote pastebėti sudėtingų elektrinių grandinių schemas, kuriose galima įžvelgti ir nuoseklųjį, ir lygiagretųjį laidininkų jungimo būdą (1.4.1 pav.). Tokį prietaisų jungimą, labai dažnai taikomą radiotechnikoje, vadiname ***mišriúoju jungimù***. Naujų elektros srovės stiprio, įtampos ir varžos skaičiavimo taisyklių šiam jungimo būdui nėra. Pakanka žinoti nuosekliojo ir lygiagrečiojo laidininkų jungimo taisykles, kai kuriuos elektrinių grandinių pakeitimo ekvivalentinėmis atvejus.

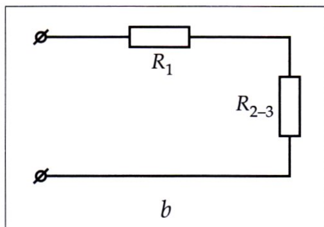


1.4.1 pav.

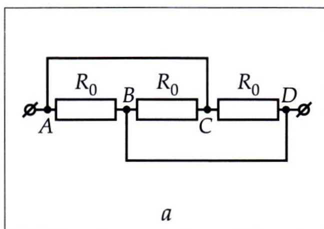
Mišriai sujungtų laidininkų pilnutinės varžos skaičiavimas

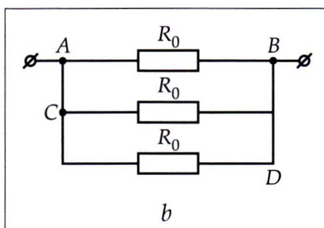
Sprendžiant mišriojo laidininkų jungimo uždavinius, pirmiausia nustatoma, kurie elektrinės grandinės imtuvai sujungti nuosekliai, o kurie – lygiagrečiai. Atsižvelgus į jungimo būdą, pirminė grandinė pakei-





1.4.2 pav.





1.4.3 pav.

čiama ekvivalentine grandine. Dėl to jos elektrinė schema supaprastėja. Šis procesas tęsiamas, kol visų grandinės imtuvų varžos pakeičiamos viena pilnutine grandinės varža.

1 pavyzdys. 1.4.2 paveiksle, *a*, pavaizduotas mišrusis laidininkų jungimo būdas. Antrasis ir trečiasis varžai sujungti lygiagrečiai, todėl šios grandinės dalies varža lygi

$$\frac{1}{R_{2-3}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}.$$

Atsižvelgdami į tai, pirminę schemą galime supaprastinti (1.4.2 pav., *b*). Naujoje schemoje pirmasis varžas ir antrojo bei trečiojo varžo blokas sujungti nuosekliai. Jų bendra varža, o kartu ir visos grandinės pilnutinė varža lygi

$$R = R_1 + R_{2-3}.$$

2 pavyzdys. Išnagrinėkime grandinę (1.4.3 pav., *a*), kurios atskiros dalys sujungtos labai mažos varžos laidininkais: $R_{AC} = R_{BD} = 0$. Iš Omo dėsnio grandinės daliai išeina, kad $U_{AC} = U_{BD} = 0$. Tada grandinės taškų *A* ir *C* potencialai yra lygūs: $\varphi_A = \varphi_C$. Be to, lygūs ir taškų *B* ir *D* potencialai: $\varphi_B = \varphi_D$. Nustačius vienodo potencialo taškus, pirminę schemą (1.4.3 pav., *a*) galima supaprastinti – pakeisti ekvivalentine schema (1.4.3 pav., *b*). Apskaičiuokime pagal šią schemą sujungtos grandinės pilnutinę varžą:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_0} + \frac{1}{R_0} + \frac{1}{R_0},$$

$$R = \frac{R_0}{3}.$$

3 pavyzdys. Vienodo potencialo taškų nustatymu pagrįstas varžos matavimas Vìtstono tilteliù. Tiltelį (1.4.4 pav., *a*) sudaro keturi varžai, sujungti taip, kad susidarytų keturkampis *ABCD*. Trijų varžų varža *R*, R_1 ir R_2 yra žinoma, o ketvirto R_x nežinoma. Vienoje keturkampio įstrižainėje įjungtas srovės šaltinis, kitoje – galvanometras.

Pirmojo ir antrojo varžo varža R_1 ir R_2 paprastai parenkama stumdant reochordo slankiklį. Randama tokia jo padėtis, kai srovė galvanometru neteka (elektrinė grandinė yra subalansuota). Tada grandinės taškų *B* ir *D* potencialas yra vienodas. Todėl gran-

dinės dalių *AB* ir *AD*, taip pat *BC* ir *CD* įtampos yra lygios. Vadinasi,

$$I_1R_x = I_2R,$$
$$I_1R_1 = I_2R_2.$$

Pirmą šių lygybių padaliję panariui iš antrosios, gauname:

$$\frac{I_1R_x}{I_1R_1} = \frac{I_2R}{I_2R_2}.$$

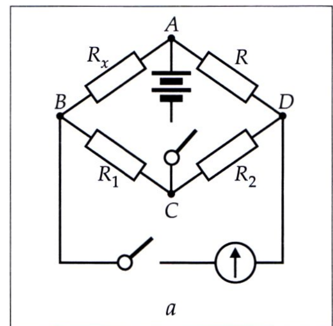
Iš čia išreiškiame ieškomą varžą R_x:

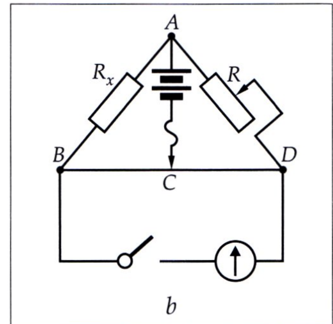
$$R_x = \frac{RR_1}{R_2}.$$

Kai elektrinė grandinė subalansuota, varžų santykį galime pakeisti reochordo vielos dalių ilgių santykiu (1.4.4 pav., *b*):

$$R_x = \frac{Rl_1}{l_2}.$$

Bandymo su Vitstono tilteliu analizė parodė, kad, taikant vienodo potencialo taškų nustatymo metodiką, nesunku spręsti įvairius mišriojo laidininkų jungimo uždavinius.





1.4.4 pav.

Klausimai ir užduotys

1. Nubraižykite elektrinę schemą, kurioje šeši vienodi 10 Ω varžos varžai būtų sujungti taip, kad pilnutinė grandinės varža būtų lygi 10 Ω.

2. 1.4.5 paveiksle, *a*, pavaizduotas mišrusis penkių varžų jungimas. $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R$.

a) Persibraižykite šią elektrinę schemą savo sąsiuvinyje ir pažymėkite joje elektros srovės kryptį.

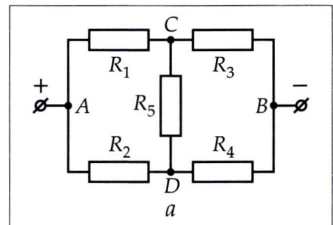
b) Paaiškinkite, kodėl penktuoju varžu elektros srovė neteka.

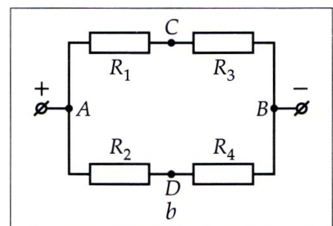
c) Ar galima 1.4.5 paveiksle, *a*, pavaizduotą schemą pakeisti ekvivalentinėmis schemomis (1.4.5 pav., *b* ir *c*)? Atsakymą pagrįskite.

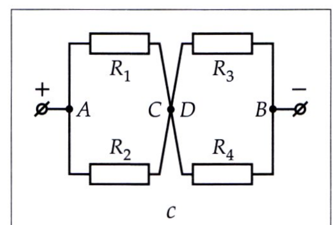
d) Apskaičiuokite pilnutinę grandinės varžą.

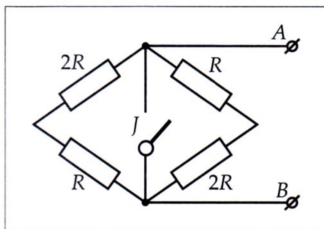
e) Ar galima pirminėje elektrinės grandinės schemoje (1.4.5 pav., *a*) įžvelgti Vitstono tiltelį? Atsakymą pagrįskite.

1.4.5 pav.









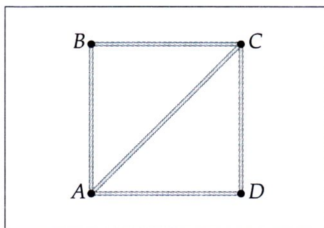
1.4.6 pav.

3. Kai elektrinės grandinės (1.4.6 pav.) jungiklis J įjungtas, varža $R_{AB} = 80\ \Omega$. Kokia yra grandinės dalies tarp taškų A ir B varža, kai jungiklis išjungtas? (90 Ω)

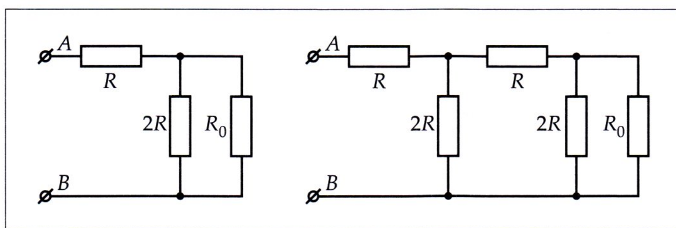
4*. Kvadratinio vielos rėmelio (1.4.7 pav.) vienos kraštinės varža lygi R. Apskaičiuokite R_{AC}, R_{AD}, R_{BD}.

$$\left(R_{AC} = \frac{R\sqrt{2}}{\sqrt{2}+1},\ R_{AD} = \frac{R\left(3\sqrt{2}+2\right)}{4\sqrt{2}+1},\ R_{BD} = R \right)$$

5*. 1.4.8 paveiksle pavaizduotos dvi elektrinės grandinės. Kokia turi būti varžų varža R_0, kad abiejų grandinių pilnutinė varža R_{AB} būtų vienoda? ($R_0 = 2R$)



1.4.7 pav.



1.4.8 pav.

Mokomės spręsti uždavinius

1. Varinis laidininkas, kurio skerspjūvio plotas 1 mm², prijungtas prie 110 V įtampos šaltinio. Laidininku teka 11 A stiprio elektros srovė. Apskaičiuokime laidininko ilgį.

l – ?	$S = 1\ \text{mm}^2 = 10^{-6}\ \text{m}^2$
	$U = 110$ V
	$I = 11$ A
	$\rho = 1{,}7 \cdot 10^{-8}\ \Omega \cdot \text{m}$

Sprendimas

Taikome laidininko varžos skaičiavimo formulę

$$R = \frac{\rho l}{S}. \quad (1)$$

Iš Omo dėsnio grandinės daliai išplaukia, kad

$$R = \frac{U}{I}. \quad (2)$$

Kadangi abiejų lygybių kairiosios pusės yra lygios, sulyginame ir dešiniąsias:

$$\frac{\rho l}{S} = \frac{U}{I}.$$

Iš čia išreiškiame laidininko ilgį:

$$l = \frac{US}{\rho I}.$$

Įrašę dydžių vertes, gauname:

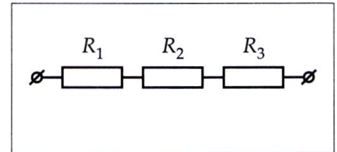
$$l = \frac{110\ \text{V} \cdot 10^{-6}\ \text{m}^2}{1{,}7 \cdot 10^{-8}\ \Omega \cdot \text{m} \cdot 11\ \text{A}} = 588{,}2\ \text{m}.$$

Atsakymas: 588,2 m.

2. Elektrinę grandinę, kurios schema pavaizduota 1.4.9 paveiksle, sudaro trys nuosekliai sujungti varžai. Pirmojo varža 36 Ω, o gnybtų įtampa 9 V, trečiojo gnybtų įtampa 120 V. Apskaičiuokime:

a) antrojo varžo gnybtų įtampą, kai jo varža lygi 64 Ω;

b) trečiojo varžo varžą.



1.4.9 pav.

U_2 – ?	$R_1 = 36\ \Omega$
R_3 – ?	$U_1 = 9\ \text{V}$
	$R_2 = 64\ \Omega$
	$U_3 = 120\ \text{V}$

Sprendimas

a) Grandinė yra nuoseklioji, todėl pirmajam ir antrajam varžui taikome nuosekliojo jungimo 3 taisyklę:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}.$$

Iš čia išreiškiame įtampą U_2:

$$U_2 = \frac{U_1 R_2}{R_1}.$$

Į gautą lygtį įrašome dydžių vertes ir apskaičiuojame:

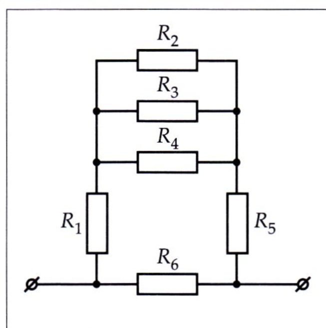
$$U_2 = \frac{9\ \text{V} \cdot 64\ \Omega}{36\ \Omega} = 16\ \text{V}.$$

b) Nuosekliojo jungimo 3 taisyklę taikome pirmajam ir trečiajam varžui:

$$\frac{U_1}{U_3} = \frac{R_1}{R_3}.$$

Iš čia išreiškiame varžą R_3:

$$R_3 = \frac{R_1 U_3}{U_1}.$$



1.4.10 pav.

Įrašę dydžių vertes, gauname:

$$R_3 = \frac{36\ \Omega \cdot 120\ \text{V}}{9\ \text{V}} = 480\ \Omega.$$

Atsakymas: a) 16 V; b) 480 Ω.

3. 1.4.10 paveiksle pavaizduotos grandinės $R_1 = 2\ \Omega$, $R_2 = R_3 = R_4 = 15\ \Omega$, $R_5 = 3\ \Omega$, $R_6 = 90\ \Omega$. Apskaičiuokime pilnutinę šios grandinės varžą.

R – ?	$R_1 = 2\ \Omega$
	$R_2 = R_3 = R_4 = 15\ \Omega$
	$R_5 = 3\ \Omega$
	$R_6 = 90\ \Omega$

Sprendimas

Varžai minėtoje grandinėje yra sujungti mišriai. Išnagrinėkime atskirų grandinės dalių jungimą.

Antrasis, trečiasis ir ketvirtasis varžai sujungti lygiagrečiai. Taigi jiems galime taikyti taisyklę, pagal kurią apskaičiuojama lygiagrečiai sujungtų laidininkų pilnutinė varža. Pažymėkime ją R_{2-4}. Tada

$$R_{2-4} = \frac{R_2}{3};$$

$$R_{2-4} = \frac{15\ \Omega}{3} = 5\ \Omega.$$

Pirmasis varžas, antrojo, trečiojo ir ketvirtojo varžų blokas ir penktasis varžas tarpusavyje sujungti nuosekliai, todėl pilnutinė jų varža R_{1-5} lygi

$$R_{1-5} = R_1 + R_{2-4} + R_5;$$

$$R_{1-5} = 2\ \Omega + 5\ \Omega + 3\ \Omega = 10\ \Omega.$$

Pirmojo–penktojo varžų blokas ir šeštasis varžas sujungti lygiagrečiai, taigi

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_{1-5}} + \frac{1}{R_6}.$$

Įrašę varžų vertes, gauname:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{10\ \Omega} + \frac{1}{90\ \Omega},$$

$$R = 9\ \Omega.$$

Atsakymas: 9 Ω.

Užduotys savarankiškam darbui

1. Du varžai sujungti lygiagrečiai. Pirmuoju 55 Ω varžos varžu teka 4 A srovė, antruoju – 0,8 A. Apskaičiuokite antrojo varžo varžą. (275 Ω)

2. 64 Ω varžos laidą berniukas padalijo į dvi lygias dalis ir jas sujungė lygiagrečiai. Junginio varža buvo lygi 1 Ω. Į kiek dalių berniukas padalijo laidą? (Į 8 dalis)

3. Atlikdama fizikos laboratorinį darbą, Emilija naudojo šešis varžus: 1 Ω, 2 Ω, 2 Ω, 4 Ω, 5 Ω ir 6 Ω. Mergaitė turėjo sujungti juos taip, kad pilnutinė varža būtų lygi 1 Ω. Kaip atliktumėte šią užduotį? Nubraižykite brėžinį.

4. Pasirinkti keturi varžai, kurių kiekvieno varža 60 Ω. Nubraižykite šių varžų jungimo schemas, atsižvelgdami į tai, kad pilnutinė grandinės varža lygi:

a) 15 Ω; b) 45 Ω; c) 60 Ω;
d) 80 Ω; e) 100 Ω; f) 240 Ω.

5. Keturi vienodi 10 Ω varžos varžai sujungti taip, kaip pavaizduota 1.4.11 paveiksle. Apskaičiuokite pilnutinę grandinės varžą. (6 Ω)

6. Šeši vienodi 60 Ω varžos varžai sujungti taip, kaip pavaizduota 1.4.12 paveiksle. Įtampa tarp taškų *A* ir *B* lygi 220 V. Kokio stiprio elektros srovė teka kiekvienu varžu? ($I_1 = I_2 = I_3 = 0{,}67$ A; $I_4 = I_5 = 1$ A; $I_6 = 2$ A)

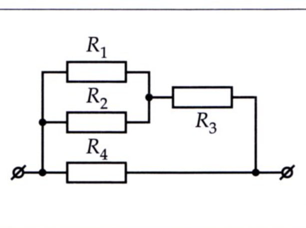
7. Keturi varžai, kurių varža $R_1 = 4\ \Omega$, $R_2 = 20\ \Omega$, $R_3 = 80\ \Omega$ ir $R_4 = 30\ \Omega$, sujungti taip, kaip pavaizduota 1.4.13 paveiksle. Elektros srovės stipris grandinėje lygus 4 A. Apskaičiuokite kiekvieno varžo gnybtų įtampą ir įtampą tarp taškų *A* ir *B*.

($U_1 = 16$ V; $U_2 = U_3 = 64$ V; $U_4 = 120$ V; $U_{AB} = 200$ V)

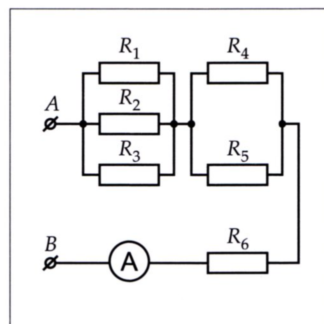
8*. Penki varžai sujungti mišriai (1.4.14 pav.). Apskaičiuokite grandinės dalies tarp taškų *B* ir *D* varžą, kai $R = 1\ \Omega$, $R_1 = 3\ \Omega$, $R_2 = 2\ \Omega$. (2 Ω)

9*. Gintautas iš vielos pagamino taisyklingojo šešiakampio formos figūrą ir jos viršūnes *A* ir *B*, *C* ir *D* sujungė tokia pat viela (1.4.15 pav.). Vielas *AB* ir *CD* per vidurį jis sulydė (taške *O*). Pagamintos figūros viršūnes *A* ir *D* berniukas įjungė į elektrinę grandinę. Apskaičiuokite grandinės dalies tarp taškų *A* ir *D* varžą, kai vienos šešiakampio kraštinės varža lygi R_0.

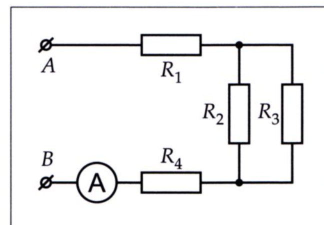
$$\left(R_{AD} = \frac{4}{3}R_0\right)$$



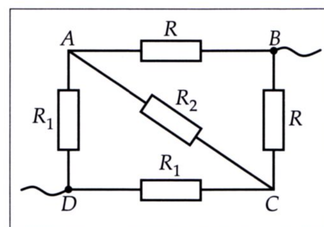
1.4.11 pav.



1.4.12 pav.

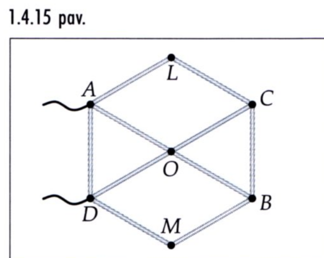


1.4.13 pav.



1.4.14 pav.

1.4.15 pav.



1.5. Elektros srovės stiprio ir įtampos matavimas

Pagrindinės sąvokos

Šuñtas, príešvaržis.

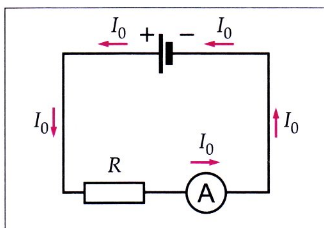
Elektros srovės stiprio matavimas

Matuoti elektros srovės stiprį ir įtampą jau išmokote žemesnėse klasėse. Dabar aptarkime sudėtingesnius srovės stiprio ir įtampos matavimo atvejus.

Elektros srovės stipris matuojamas ampermetru, kuris į elektrinę grandinę jungiamas nuosekliai (1.5.1 pav.). Vadinasi, juo teka visa matuojama elektros srovė. Ampermetras[1] turi varžą (R_A), todėl, jį įjungus, grandinės dalies varža padidėja:

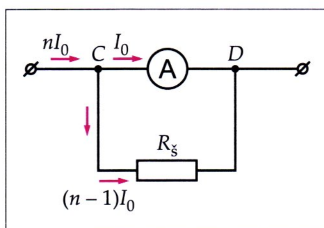
$$R_{nuosekl} = R + R_A. \tag{1.18}$$

Dėl to, nekintant įtampai, elektros srovės stipris grandinėje sumažėja. Kad jis pakistų kuo mažiau, ampermetro varža turi būti maža – daug mažesnė už grandinės dalies varžą $(R_A \ll R)$.



1.5.1 pav.

Nuo ampermetro sandaros priklauso didžiausias (dar sakoma – leistinasis) elektros srovės stipris (I_0), kurį galima išmatuoti tuo ampermetru. Pavyzdžiui, laboratoriniu ampermetru galima išmatuoti ne didesnį kaip 1 mA srovės stiprį. Jeigu jis didesnis už leistinąjį, prie ampermetro reikia prijungti (1.5.2 pav.) papildomą varžą ($R_š$) – ***šuñtą*** (angl. *shunt* – atsarginis kelias). ***Šuntù vadinamas varžas, kuris jungiamas lygiagrečiai su ampermetru, siekiant išplėsti jo matavimo ribas.*** Šunto varža parenkama tokia, kad ampermetru tekėtų ne stipresnė negu leistinoji srovė (I_0).



1.5.2 pav.

Matuojant elektros srovės stiprį, svarbu žinoti, kokios varžos šuntą reikia prijungti. Išveskime formulę šunto varžai apskaičiuoti. Tarkime, kad ampermetru teks matuoti elektros srovės stiprį, kuris yra n kartų didesnis už leistinąjį $\left(n = \frac{I}{I_0}\right)$. Tada šuntu tekės stiprio $(n - 1)I_0$ elektros srovė. Kadangi ampermetras ir šuntas sujungti lygiagrečiai, jų gnybtų įtampa bus vienoda:

$$U_A = U_š,\ \text{arba}\ I_0 R_A = (n - 1)I_0 R_š. \tag{1.19}$$

[1] Daugiau apie ampermetro sandarą ir veikimo principus sužinosite 2.4 temoje.

Iš šios lygybės išreiškiame šunto varžą:

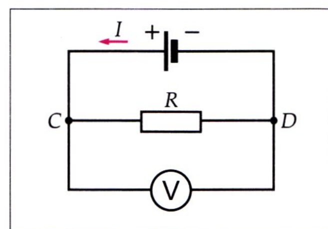
$$R_{š} = \frac{R_A}{n-1}. \qquad (1.20)$$

Šuntuoto ampermetro viršutinė matavimo riba išsiplečia n kartų. Tiek pat kartų padidėja ir jo padalos vertė. Sakykime, kad, naudojant šuntą, ampermetru, kurio viršutinė matavimo riba 1 mA, buvo išmatuota 1 A stiprio elektros srovė. Vadinasi, šuntuoto ampermetro padalos vertė padidėjo 1000 kartų.

Įtampos matavimas

Įtampa matuojama voltmetru[1], kuris į elektrinę grandinę jungiamas lygiagrečiai (1.5.3 pav.). Įjungus voltmetrą, grandinės dalies varža sumažėja:

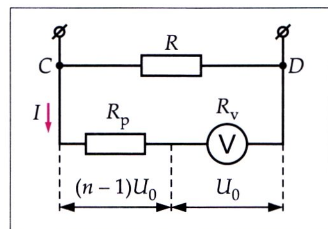
$$R_{lygiagr} = \frac{R_V R}{R_V + R} = \frac{R}{1 + \frac{R}{R_V}}. \qquad (1.21)$$



1.5.3 pav.

Dėl to sumažėja ir grandinės dalies įtampa. Kad voltmetras labai nepakeistų matuojamos įtampos, jo varža turi būti daug didesnė už grandinės dalies, kurioje matuojama įtampa, varžą $(R_V \gg R)$. Voltmetrų varža dažniausiai būna didesnė kaip 1 MΩ.

Voltmetro sandara lemia, kokią didžiausią įtampą (U_0) juo galima išmatuoti. Jei matuojama įtampa didesnė už leistinąją $(U > U_0)$, prie voltmetro reikia prijungti ***priešvaržį*** (1.5.4 pav.). ***Priešvaržiu vadinamas varžas, kuris jungiamas nuosekliai su voltmetru, siekiant išplėsti jo matavimo ribas.***



1.5.4 pav.

Nustatykime, kokį priešvaržį reikia prijungti prie voltmetro, norint išmatuoti įtampą, n kartų didesnę už leistinąją $\left(n = \frac{U}{U_0}\right)$. Iš laidininkų nuosekliojo jungimo taisyklių išplaukia, kad priešvaržio gnybtų įtampa lygi $(n-1)U_0$. Be to, voltmetru ir priešvaržiu teka tokio pat stiprio elektros srovė:

$$I = \frac{(n-1)U_0}{R_p} = \frac{U_0}{R_V}. \qquad (1.22)$$

Iš čia

$$R_p = R_V(n-1). \qquad (1.23)$$

[1] Daugiau apie voltmetro sandarą ir veikimo principus sužinosite 2.4 temoje.

Naudojant priešvaržį, voltmetro jautris sumažėja n kartų. Tada tikrąją įtampos vertę sužinome padauginę voltmetro rodmenį iš n.

Klausimai ir užduotys ??

1. Kokia yra ampermetro paskirtis? Kaip šis prietaisas jungiamas į elektrinę grandinę? Kodėl ampermetro varža turi būti maža?

2. Kokia yra voltmetro paskirtis? Kaip jis jungiamas į elektrinę grandinę? Kodėl voltmetro varža turi būti didelė?

3. Kaip prie ampermetro jungiamas šuntas? Kaip jis pakeičia ampermetro skalės padalos vertę?

4. Kaip prie voltmetro jungiamas priešvaržis? Kaip jis pakeičia voltmetro skalės padalos vertę?

5. Ampermetru gali tekėti elektros srovė, kurios stipris I_0. Remdamiesi 1.5.2 paveikslu ir laidininkų jungimo taisyklėmis, įrodykite, kad šuntu tekančios srovės stipris lygus $(n - 1)I_0$.

6. Voltmetru galima išmatuoti įtampą U_0. Remdamiesi 1.5.4 paveikslu ir laidininkų jungimo taisyklėmis, įrodykite, kad priešvaržio gnybtų įtampa lygi $(n - 1)U_0$.

7. Miliampermetro varža 10 Ω, viršutinė matavimo riba 50 mA. Atliekant bandymą, reikia išmatuoti 1 A elektros srovės stiprį.

a) Kokios varžos šuntą teks prijungti prie miliampermetro? (0,53 Ω)

b) Kiek kartų dėl to pakis ampermetro skalės padalos vertė? (200 kartų)

c) Nubraižykite atitinkamą elektrinę schemą.

8. Voltmetras, kurio varža 2 kΩ, apskaičiuotas 6 V įtampai. Šiuo voltmetru reikia išmatuoti 240 V įtampą.

a) Apskaičiuokite priešvaržio varžą. (78 MΩ)

b) Nustatykite, kiek kartų sumažės voltmetro jautris, prijungus priešvaržį. Kaip į tai reikia atsižvelgti matuojant įtampą?

c) Nubraižykite atitinkamą elektrinę schemą.

9. Voltmetras, kuriuo galima išmatuoti 20 V įtampą, jungiamas į 120 V įtampos tinklą. Kokį priešvaržį reikia prijungti, kad juo tekėtų 5 mA elektros srovė? (20 kΩ)

1.6. Nuolatinės elektros srovės šaltiniai. Elektrovara

Elektrinės grandinės išorinė ir vidinė dalis

Susipažinote su įvairiais elektrinių grandinių jungimo būdais. Kad ir kokia būtų grandinė (nuoseklioji ar lygiagrečioji), joje galima išskirti dvi dalis: išorinę ir vidinę.

Išorinę grandinės dalį sudaro visa tai, kas jungiama prie srovės šaltinio gnybtų: lempos, varžai ir kiti elektros energijos imtuvai, taip pat jungikliai ir jungiamieji laidai. Ji vartoja šaltinio tiekiamą energiją. Šios grandinės dalies varža vadinama ***išorinė varža*** ir žymima raide *R*. Taigi išorinė varža yra elektrinių prietaisų ir jungiamųjų laidų varža.

Vidinę grandinės dalį sudaro elektros srovės šaltinių vidus: generatoriuje – inkaro apvija, galvaniniame elemente – elektrolito tirpalas ir elektrodai. Vidinėje grandinės dalyje kitų rūšių energija virsta elektros energija. Vidinė grandinės dalis, kaip ir išorinė, turi varžą, kuri vadinama ***vidinė varža***. Ji žymima raide *r* ir matuojama omais. Grandinės vidinė varža apibūdina srovės šaltinio pasipriešinimą elektros srovei, kurią jis sukelia. Generatoriaus vidinė varža yra jo apvijų varža, galvaninio elemento – elektrolito tirpalo ir elektrodų varža.

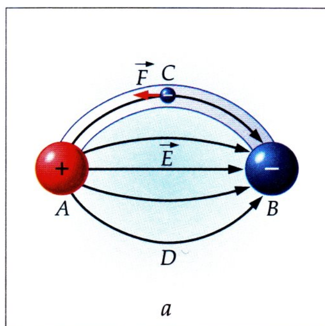
Vieta, kuria išorinė grandinės dalis jungiasi su vidine, vadinama ***srovės šaltinio poliais***.

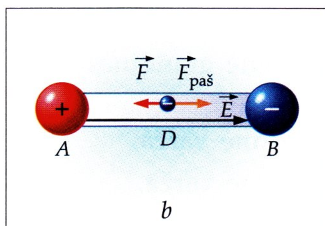
Pagrindinės sąvokos

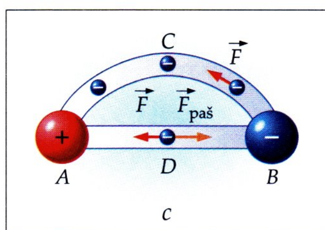
Išorinė grandinės dalis,
vidinė grandinės dalis,
išorinė varža,
vidinė varža,
srovės šaltinio poliai,
pašalinės jėgos,
elektrovara.

Pašalinės jėgos

Išnagrinėkime, kas vyksta vidinėje grandinės dalyje (srovės šaltinyje), kaip kitų rūšių energija čia virsta elektros energija. Norėdami geriau suprasti vyksmus srovės šaltinių viduje, pasitelkime mintinį eksperimentą. Tarkime, kad turime du rutuliukus *A* ir *B*, įelektrintus įvairiaženkliais krūviais (1.6.1 pav., *a*). Kai juos sujungiame laidininku *ACB*, elektronai, veikiami

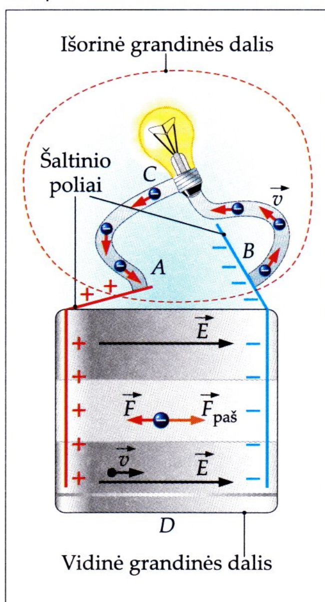






1.6.1 pav.

1.6.2 pav.



elektrinio lauko jėgų (Kulono jėgų) $\vec{F}$, ima judėti iš rutuliuko B į rutuliuką A. Tačiau šis judėjimas netrukus baigiasi, mat rutuliukai išsielektrina. Kad elektronai nesiliautų judėti laidininku, juos reikia kokiu nors būdu perkelti atgal – iš rutuliuko A į rutuliuką B. Elektrinis laukas tarp rutuliukų to padaryti negali. Dėl jo poveikio elektronai judėtų atgal į rutuliuką A. Vadinasi, laidininke ADB (vidinėje grandinės dalyje) elektronus turi veikti neelektrostatinės jėgos, nukreiptos prieš elektrinio lauko jėgas $\vec{F}$, be to, už jas didesnės (1.6.1 pav., *b*). ***Bet kurios elektringąsias daleles veikiančios jėgos, išskyrus elektrostatines (Kulono jėgas), vadinamos pašalinėmis jėgomis.*** Pašalinės jėgos $\vec{F}_{\text{paš}}$ veikia laidininke ADB, gražindamos elektronus į rutuliuką B (1.6.1 pav., *b*).

Sujungę laidininkus ACB ir ADB (1.6.1 pav., *c*), gauname uždarąją grandinę, kuria visą laiką cirkuliuoja elektronų srautas. Laidininku ACB (išorine grandinės dalimi) elektronai juda iš rutuliuko B į rutuliuką A, veikiami elektrinio lauko jėgų $\vec{F}$, o laidininku ADB (vidine grandinės dalimi) – iš rutuliuko A į rutuliuką B, veikiami pašalinių jėgų $\vec{F}_{\text{paš}}$. Taigi rutuliukai neišsielektrina ir grandine $ACBD$ nenutrūkstamai teka elektros srovė.

Mintinį eksperimentą pakeiskime realia elektrine grandine (1.6.2 pav.). Kai ją sujungiame, elektrinis laukas atsiranda visuose jos laidininkuose. Išorine grandinės dalimi (BCA) elektronai juda veikiami elektrinio lauko, šaltinio viduje (ADB) – veikiami pašalinių jėgų $\vec{F}_{\text{paš}}$. Srovės šaltinyje jos perskirsto elektringąsias daleles. Taip viename šaltinio poliuje kaupiasi teigiamasis, o kitame – neigiamasis elektros krūvis. Perskirstydamos daleles, pašalinės jėgos atlieka darbą. Pirma aptarkime pašalinių jėgų kilmę, paskui – jų atliekamą darbą.

Pašalinių jėgų kilmė

Pašalinių jėgų kilmė gali būti įvairi. Ji priklauso nuo srovės šaltinio sandaros.

Prisiminkime galvaninį Voltos elementą, apie kurį kalbėjote žemesnėse klasėse. Jis sudarytas iš cinko ir vario elektrodų, įmerktų į sieros rūgšties tirpalą.

Rūgštyje cheminės jėgos ima tirpinti cinką – į tirpalą pereina teigiamieji cinko jonai. Dėl to cinko elektrodas įgyja neigiamąjį elektros krūvį. Vario elektrodas įsielektrina teigiamai. Vadinasi, galvaniniame Voltos elemente pašalinės jėgos yra cheminės.

Elektrinės generatoriuose pašalinės jėgos yra magnetinės. Apie jas daugiau sužinosite kitame skyriuje.

Elektrovara

Pašalinių jėgų veikimą apibūdina fizikinis dydis, vadinamas ***elektróvara***. Ji žymima raide E arba e. ***Darbo ($A_{paš}$), kurį atlieka pašalinės jėgos, perkeldamos teigiamąjį krūvį (Δq) uždaru kontūru, ir to krūvio santykis vadinamas elektróvara***:

$$E = \frac{A_{paš}}{\Delta q}. \quad (1.24)$$

Galime kalbėti apie elektrovarą bet kurioje grandinės dalyje. Ją suprasime kaip pašalinių jėgų darbą, atliekamą perkeliant vienetinį elektros krūvį ne visu kontūru, o tik tam tikra jo dalimi.

Elektrovaros matavimo vienetas yra toks pat kaip įtampos arba potencialų skirtumo, t. y. *vòltas*[1]. Taigi elektrovara yra įtampai analogiškas dydis. Jeigu, pašalinėms jėgoms srovės šaltinyje atliekant 1 J darbą, grandine prateka 1 C elektros krūvis, sakoma, kad šaltinio elektrovara lygi 1 V:

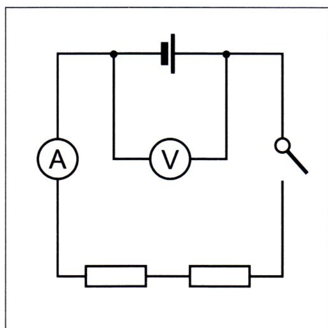
$$1\ \text{V} = \frac{1\ \text{J}}{1\ \text{C}}.$$

Apžiūrinėdami buityje naudojamus galvaninius elementus arba jų baterijas (1.6.3 pav.), tikriausiai pa-



1.6.3 pav.

[1] Pašalinių jėgų darbo negalima išreikšti potencialų skirtumu.



1.6.4 pav.

stebėjote, kad ant vienų korpuso būna užrašyta 1,5 V, ant kitų – 4,5 V, dar kitų – 3 V ir pan. Dabar jau galime paaiškinti, ką reiškia šie užrašai. Jie rodo, kokį darbą atlieka pašalinės jėgos (šiuo atveju – cheminės), perkeldamos 1 C elektros krūvį iš vieno elemento ar baterijos poliaus į kitą. Užrašas 4,5 V reiškia, kad pašalinės jėgos atlieka 4,5 J darbą. Antra vertus, jis rodo, kiek kitos rūšies energijos šaltinio viduje sunaudojama perkeliant grandine 1 C elektros krūvį.

Elektros srovė uždarąja grandine gali tekėti tik tada, kai joje yra elektrovara. Atjungus išorinę grandinės dalį – laidininką *ACB* (žr. 1.6.2 pav.), elektringosios dalelės toliau judės dalimi *ADB*, veikiamos pašalinių jėgų. Įtampa tarp srovės šaltinio polių *A* ir *B* didės, kol daleles veikianti elektrinė jėga atsvers pašalinę jėgą. Paskui dalelės nustos kauptis poliuose *A* ir *B* ir šaltinio įtampa tarp jų bus didžiausia. Todėl, *norėdami išmatuoti srovės šaltinio elektrovarą, voltmetrą prie šaltinio turime jungti, kai grandinė yra atvira* (1.6.4 pav.).

Klausimai ir užduotys

1. Kodėl elektrinis laukas negali uždarojoje grandinėje palaikyti nuolatinės elektros srovės?

2. Ką vadiname pašalinėmis jėgomis? Kokia yra šių jėgų kilmė?

3. Ką vadiname elektrovara? Koks yra jos matavimo vienetas?

4. Ant fotoaparato elementų baterijos korpuso užrašyta 1,5 V. Paaiškinkite šį užrašą.

5. Ant kišeninio žibintuvėlio elementų baterijos užrašyta 4,5 V, o ant elektros lemputės – 3,5 V. Kodėl leidžiamas toks skirtumas?

6. Ar darbas, kurį atlieka srovės šaltinis vidinėje grandinės dalyje, yra pastovus? Atsakymą pagrįskite.

7. Remdamiesi 1.6.4 paveikslu, nurodykite:
a) ką rodytų voltmetras, išjungus jungiklį;
b) ką rodytų voltmetras, įjungus jungiklį;
c) kuriuo atveju voltmetro rodmenys būtų didesni (atsakymą pagrįskite).

1.7. Omo dėsnis uždarajai grandinei

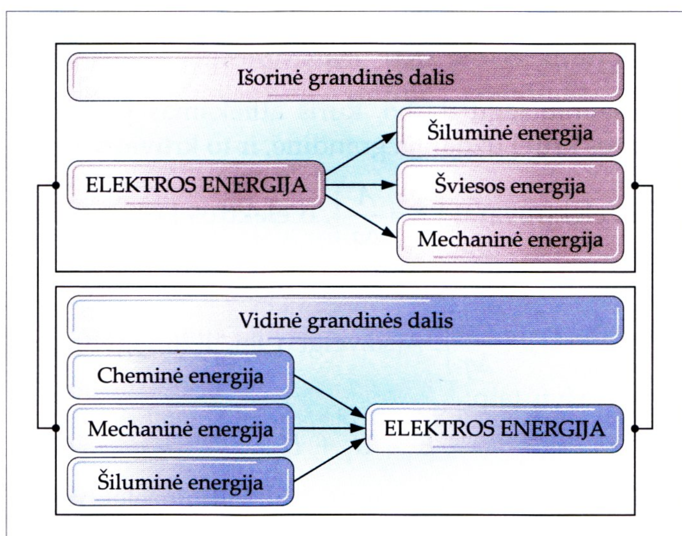
Energijos tvermės dėsnio taikymas uždarajai elektrinei grandinei

Pagrindinės sąvokos

Įtampos krytis, pilnutinė grandinės varža.

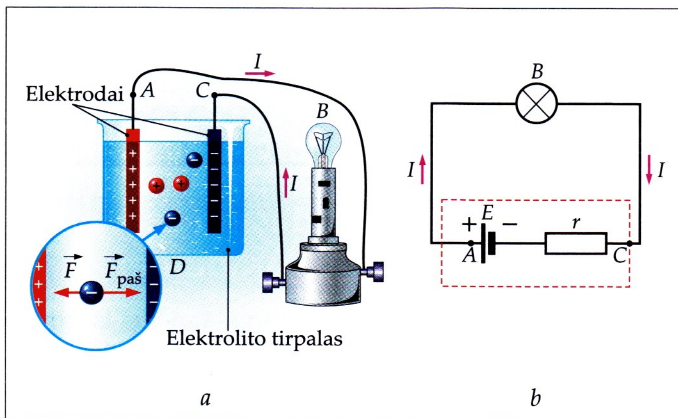
Aptarkime energijos virsmus, vykstančius išorinėje ir vidinėje elektrinės grandinės dalyje, t. y. visoje uždarojoje grandinėje. Jiems galioja energijos tvermės dėsnis, kuris teigia, kad energija iš niekur neatsiranda ir be pėdsako neišnyksta. Tekėdama išorine grandinės dalimi, elektros srovė išskiria joje energiją (1.7.1 pav.). Todėl kiekvienoje elektrinėje grandinėje turi būti energijos šaltinis, kuriame kokios nors rūšies energija (galvaniniame elemente – cheminė, generatoriuje – mechaninė, termoelemente – šiluminė) virstų elektros energija (1.7.1 pav.).

Pritaikykime energijos tvermės dėsnį paprasčiausiai uždarajai elektrinei grandinei, sudarytai iš srovės šaltinio (galvaninio elemento), elektros lemputės ir jungiamųjų laidų (1.7.2 pav., *a*). Išorinę grandinės dalį *ABC* sudaro elektros lemputė ir jungiamieji laidai, o vidinę *ADC* – srovės šaltinis. 1.7.2 paveiksle, *b*, pavaizduota šios grandinės elektrinė schema[1]. Tarkime, kad vidinėje grandinės dalyje pašalinės jėgos atliko



1.7.1 pav.

[1] Joje varžo sutartiniu ženklu pažymėta srovės šaltinio vidinė varža.



1.7.2 pav.

darbą A (tiek cheminės energijos virto elektros energija). Dėl to grandine pratekėjo elektros krūvis Δq, kuris išorinėje dalyje atliko darbą A_i, o vidinėje – darbą A_v. Pagal energijos tvermės dėsnį pašalinių jėgų darbas lygus elektros krūvio darbo išorinėje ir vidinėje grandinės dalyje sumai:

$$A = A_i + A_v. \tag{1.25}$$

Omo dėsnis uždarajai grandinei, kurioje yra vienas srovės šaltinis

Remiantis energijos tvermės dėsniu (1.25), gaunamas Omo dėsnis uždarajai grandinei. 1.25 lygybės visus narius padalykime iš Δq:

$$\frac{A_{paš}}{\Delta q} = \frac{A_i}{\Delta q} = \frac{A_v}{\Delta q}. \tag{1.26}$$

Pašalinių jėgų darbo, kuris atliekamas perkeliant elektros krūvį uždarąja grandine, ir to krūvio santykis lygus elektrovarai $\left(E = \frac{A}{\Delta q}\right)$, o elektros krūvio atlikto darbo ir to krūvio santykis lygus elektrinei įtampai $\left(U_i = \frac{A_i}{\Delta q}; U_v = \frac{A_v}{\Delta q}\right)$. Atsižvelgę į tai, 1.26 lygybę galime užrašyti taip:

$$E = U_i + U_v. \tag{1.27}$$

Fizikinė jos prasmė yra tokia: šaltinio elektrovara lygi grandinės išorinės ir vidinės dalies įtampų sumai.

Išorinei ir vidinei grandinės daliai pritaikę Omo dėsnį ($U_i = IR$, $U_v = Ir$) ir atsižvelgę į tai, kad elektros srovės stipris abiejose dalyse yra vienodas, gauname:

$$E = IR + Ir. \quad (1.28)$$

Elektros srovės stiprio ir grandinės dalies varžos sandauga vadinama ***įtampos kryčiu*** toje dalyje. Iš 1.28 lygybės išplaukia, kad šaltinio elektrovara lygi įtampos kryčių vidinėje ir išorinėje grandinės dalyje sumai. Iš lygybės išreikškime elektros srovės stiprį:

$$I = \frac{E}{R + r}. \quad (1.29)$$

Trupmenos vardiklyje yra išorinės ir vidinės grandinės dalies varžų suma ($R + r$), vadinama ***pilnutinė grandinės varža***. 1.29 lygybė, siejanti tris svarbius fizikinius dydžius:

- elektros srovės stiprį (I),
- srovės šaltinio elektrovarą (E),
- pilnutinę grandinės varžą ($R + r$),

nusako Omo dėsnį uždarajai grandinei. Šis dėsnis formuluojamas taip: ***elektros srovės stipris uždarojoje grandinėje yra tiesiogiai proporcingas srovės šaltinio elektrovarai ir atvirkščiai proporcingas pilnutinei grandinės varžai.***

Iš Omo dėsnio uždarajai grandinei išeina, kad srovės stipris priklauso nuo šaltinio elektrovaros ir grandinės pilnutinės varžos. Kai vidinė grandinės varža yra maža, palyginti su išorine ($r \ll R$), ji pastebimos įtakos srovės stipriui neturi. Tada srovės stiprį lemia šaltinio elektrovara ir išorinė grandinės varža $\left(I \approx \frac{E}{R}\right)$.

Klausimai ir užduotys ??

1. Apibūdinkite energijos virsmus elektrinėje grandinėje.

2. Ką vadiname įtampos kryčiu? Kokie yra jo matavimo vienetai?

3. Ką vadiname pilnutine grandinės varža?

4. Kas lemia elektros srovės stiprį grandinėje, kurios vidinės dalies varža yra labai maža ($r \to 0$)?

5. Pabaigdami pildyti lentelę, palyginkite Omo dėsnius: uždarajai grandinei ir jos daliai. Nurodykite, kas tarp šių dėsnių yra bendra ir kuo jie skiriasi.

	Omo dėsnis uždarajai grandinei	Omo dėsnis grandinės daliai
Elektrinės grandinės schema	R; E, r	R; A
Dėsnio formuluotė		
Dėsnio matematinė išraiška		
Elektrinių reiškinių bendrumai		
Elektrinių reiškinių skirtumai		

6. Elektrinę grandinę sudaro srovės šaltinis, kurio elektrovara 10 V, ir varžas. Grandine teka 2 A stiprio elektros srovė, šaltinio gnybtų įtampa 8 V.

a) Nubraižykite elektrinės grandinės schemą.

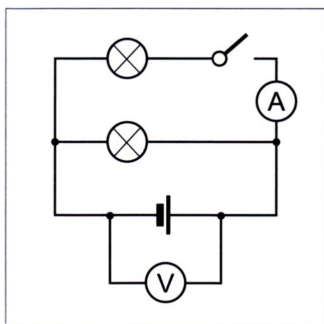
b) Apskaičiuokite šaltinio vidinę varžą. (1 Ω)

c) Apskaičiuokite varžo varžą. (4 Ω)

7. 1.7.3 paveiksle pavaizduota elektrinės grandinės schema.

a) Persibraižykite ją savo sąsiuvinyje ir pažymėkite srovės tekėjimo kryptį.

b) Nustatykite, kaip pakis ampermetro ir voltmetro rodmenys, įjungus jungiklį. Atsakymą pagrįskite.



1.7.3 pav.

8. Prie elektros srovės generatoriaus, kurio elektrovara 120 V, o vidinė varža 3 Ω, prijungtas šildymo prietaisas. Jo varža 21 Ω.

a) Nubraižykite elektrinės grandinės schemą.

b) Apskaičiuokite elektros srovės stiprį grandinėje. (5 A)

c) Apskaičiuokite įtampos krytį generatoriuje. (15 V)

1.8. Omo dėsnio uždarajai grandinei taikymas

Omo dėsnis uždarajai grandinei, kurioje yra keletas nuosekliai sujungtų srovės šaltinių

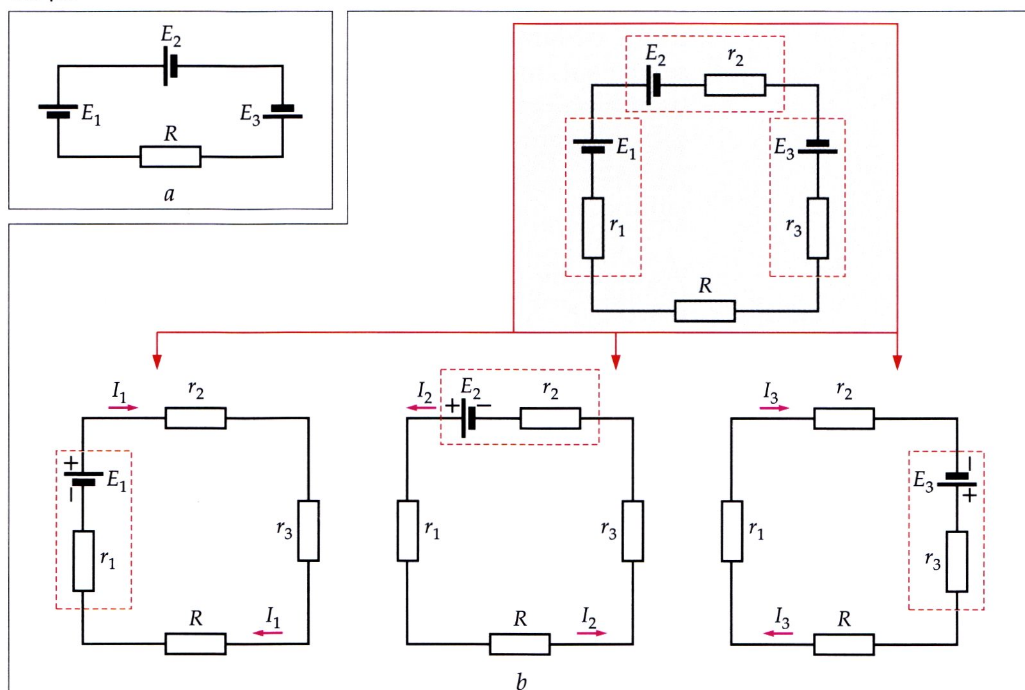
Pagrindinės sąvokos

Trumpàsis jungìmas.

Srovės šaltiniai, kaip ir elektros energijos imtuvai, gali būti jungiami nuosekliai, lygiagrečiai arba mišriai. Sujungti tarpusavyje, jie sudaro baterijas.

Aptarkime nuoseklųjį srovės šaltinių jungimą. Norėdami uždarajai grandinei, kurioje yra keletas nuosekliai sujungtų elektros srovės šaltinių (1.8.1 pav., *a*), pritaikyti Omo dėsnį, turime išsiaiškinti, koks yra kiekvieno šaltinio vaidmuo. Pakeiskime nagrinėjamos grandinės schemą ekvivalentine schema, kurioje varžo sutartiniu ženklu pažymėta kiekvieno šaltinio vidinė varža (1.8.1 pav., *b*). Jei grandinėje būtų tik pir-

1.8.1 pav.



masis srovės šaltinis, jo sukurta srovė tekėtų pagal laikrodžio rodyklę, o jos stipris būtų lygus

$$I_1 = \frac{E_1}{r_1 + r_2 + r_3 + R}. \quad (1.30)$$

Tik antrojo šaltinio sukurta elektros srovė tekėtų prieš laikrodžio rodyklę:

$$I_2 = \frac{E_2}{r_1 + r_2 + r_3 + R}, \quad (1.31)$$

tik trečiojo – pagal laikrodžio rodyklę:

$$I_3 = \frac{E_3}{r_1 + r_2 + r_3 + R}. \quad (1.32)$$

Visų trijų nuosekliai sujungtų šaltinių sukurta elektros srovė lygi atskirų srovių sumai. Kadangi antrojo šaltinio sukurta elektros srovė teka prieš laikrodžio rodyklę, jos kryptį laikysime neigiama:

$$I = I_1 + (-I_2) + I_3,$$

arba

$$I = \frac{E_1 - E_2 + E_3}{r_1 + r_2 + r_3 + R}. \quad (1.33)$$

Iš 1.33 lygybės matyti, kad pilnutinė grandinės elektrovara (E) lygi atskirų srovės šaltinių elektrovarų (E_1, E_2, E_3) algebrinei sumai. 1.33 lygybė nusako Omo dėsnį uždarajai grandinei, kurioje yra keletas nuosekliai sujungtų srovės šaltinių. Elektros srovės kryptis tokioje grandinėje priklauso nuo elektrovarų algebrinės sumos ženklo.

- Kai $E_1 - E_2 + E_3 > 0$, elektros srovė teka pagal laikrodžio rodyklę (1.8.1 pav.).
- Kai $E_1 - E_2 + E_3 < 0$, antrojo šaltinio elektrovara yra didesnė negu pirmojo ir trečiojo elektrovarų suma ($E_2 > E_1 + E_3$), todėl elektros srovė teka prieš laikrodžio rodyklę (1.8.1 pav., *b*).

Bendruoju atveju Omo dėsnis uždarajai grandinei, kurioje yra keletas nuosekliai sujungtų srovės šaltinių, formuluojamas taip: ***srovės stipris elektrinėje grandinėje, turinčioje keletą nuosekliai sujungtų šaltinių, yra tiesiogiai proporcingas algebrinei elektrovarų sumai ir atvirkščiai proporcingas pilnutinei grandinės varžai***. Matematinė jo išraiška yra

$$I = \frac{E_1 + E_2 + E_3 + \ldots + E_n}{r_1 + r_2 + r_3 + \ldots + r_n + R}. \quad (1.34)$$

Iš Omo dėsnio uždarajai grandinei (1.34) matyti, kad, šaltinius jungiant nuosekliai, grandinės vidinė varža padidėja ($r = r_1 + r_2 + r_3 + ... + r_n$).

Trumpasis laidininkų jungimas

Remiantis Omo dėsniu uždarajai grandinei, galima paaiškinti, kodėl trumpojo laidininkų jungimo metu stipriai įkaitę laidai gali užsidegti ir sukelti gaisrą. ***Trumpúoju jungimù*** vadinamas srovės šaltinio polių sujungimas laidininku, kurio varža maža ($R \to 0$), palyginti su kitų grandinės dalių varža. Iš Omo dėsnio uždarajai grandinei (1.29) išplaukia, kad srovės stiprį tada lemia tik vidinė grandinės varža:

$$I = \frac{E}{r}. \quad (1.35)$$

Ji, palyginti su išorine varža, yra maža, todėl srovė grandinėje labai sustiprėja. Pavyzdžiui, automobilio lemputės varža lygi 10 Ω, o akumuliatoriaus – 0,01 Ω. Vadinasi, srovės stipris automobilio lemputės grandinėje gali padidėti net 1000 kartų. Dėl to laidai labai įkaistų ir užsidegtų. Norint to išvengti, į elektrinę grandinę nuosekliai įjungiamas saugiklis. Kai srovė neleistinai sustiprėja, jis išsilydo ir taip nutraukia grandinę.

Srovės šaltinio elektrovaros matavimas

Remiantis Omo dėsniu uždarajai grandinei, galima paaiškinti, kaip matuojama srovės šaltinio elektrovara. Iš 1.27 lygybės išreikškime išorinės grandinės dalies įtampą:

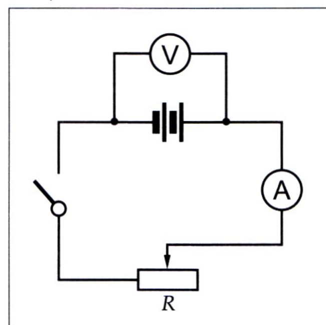
$$U_i = E - U_v = E - Ir. \quad (1.36)$$

Išjungus elektrinę grandinę, elektros srovė nutrūksta ($I = 0$). Tada

$$U_i = E. \quad (1.37)$$

Gauta lygybė rodo: kai grandinė yra išjungta, srovės šaltinio gnybtų įtampa lygi jo elektrovarai. Vadinasi, norint išmatuoti srovės šaltinio elektrovarą, reikia išjungti elektrinę grandinę, o prie šaltinio gnybtų prijungti didelės varžos voltmetrą (1.8.2 pav.).

1.8.2 pav.



Klausimai ir užduotys

1. Kokia yra srovės šaltinio, kurio elektrovara E, gnybtų įtampa, kai išorinė grandinės varža lygi vidinei varžai? Atsakymą pagrįskite.

2. Srovės šaltinio elektrovara 6 V, išorinė grandinės varža 9 Ω, srovės stipris grandinėje 0,6 A. Apskaičiuokite:

a) grandinės vidinę varžą; (1 Ω)

b) trumpojo jungimo elektros srovės stiprį; (6 A)

c) kiek kartų sustiprėja elektros srovė trumpojo jungimo metu.

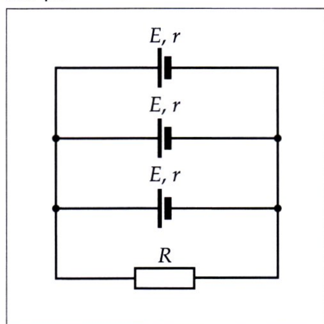
3. Elektrinė grandinė sujungiama pagal 1.8.2 paveiksle pavaizduotą schemą. Srovės šaltinio elektrovara E, o vidinė varža r, reostato varža R.

a) Nubraižykite grandine tekančios elektros srovės stiprio I priklausomybės nuo varžos R grafiką.

b) Nubraižykite srovės šaltinio gnybtų įtampos U priklausomybės nuo varžos R grafiką.

c) Apibendrinkite gautus rezultatus.

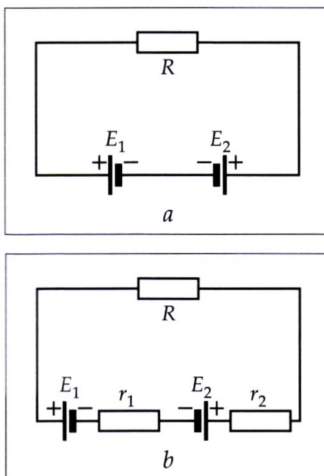
1.8.3 pav.



4. Elektrinę grandinę sudaro trys vienodi lygiagrečiai sujungti srovės šaltiniai ir varžas (1.8.3 pav.). Ar galima srovės stiprį grandinėje apskaičiuoti pagal formulę $I = \frac{E}{R + \frac{r}{3}}$? Atsakymą pagrįskite.

Mokomės spręsti uždavinius

1.8.4 pav.



1. Du srovės šaltiniai ir varžas sujungti taip, kaip parodyta 1.8.4 paveiksle, *a*. Pirmojo srovės šaltinio elektrovara 12 V, o vidinė varža 0,2 Ω, antrojo srovės šaltinio elektrovara 5 V, o vidinė varža 0,3 Ω, varžo varža 2,5 Ω. Apskaičiuokime elektros srovės, tekančios varžu, stiprį.

I – ?	E_1 = 12 V
	E_2 = 5 V
	r_1 = 0,2 Ω
	r_2 = 0,3 Ω
	R = 2,5 Ω

Sprendimas

Norėdami palengvinti uždavinio sprendimą, pradinę elektrinės grandinės schemą pakeiskime ekvivalentine schema (1.8.4 pav., *b*), kurioje pažymėtos

srovės šaltinių vidinės varžos. Pirmojo šaltinio sukurta elektros srovė teka pagal laikrodžio rodyklę, antrojo – prieš laikrodžio rodyklę, todėl

$$I = I_1 - I_2. \quad (1)$$

Iš 1 lygybės išplaukia Omo dėsnis nagrinėjamai elektrinei grandinei:

$$I = \frac{E_1 - E_2}{r_1 + r_2 + R}. \quad (2)$$

Čia pirmojo šaltinio elektrovara yra teigiama ($E_1 > 0$), o antrojo – neigiama ($E_2 < 0$). Į 2 lygybę įrašę fizikinių dydžių vertes, gauname:

$$I = \frac{12\ \text{V} - 5\ \text{V}}{0{,}2\ \Omega + 0{,}3\ \Omega + 2{,}5\ \Omega} \approx 2\ \text{A}.$$

Atsakymas: 2 A.

2. Elektrinę grandinę sudaro srovės šaltinis ir dvi vienodos lygiagrečiai sujungtos lemputės (1.8.5 pav., *a*). Šaltinio elektrovara 6 V, o vidinė varža 0,2 Ω, kiekvienos lemputės varža 4 Ω. Apskaičiuokime elektros srovės, tekančios lemputėmis, stiprį.

I – ?	$E = 6$ V $r = 0{,}2\ \Omega$ $R_0 = 4\ \Omega$

Sprendimas

Lemputės sujungtos lygiagrečiai, todėl jų pilnutinė varža

$$R = \frac{R_0 R_0}{R_0 + R_0} = \frac{R_0^2}{2R_0} = \frac{R_0}{2}. \quad (1)$$

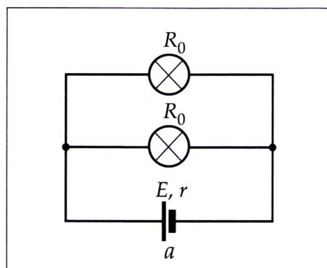
Pradinę elektrinės grandinės schemą pakeiskime ekvivalentine schema (1.8.5 pav., *b*) ir pritaikykime Omo dėsnį uždarajai grandinei:

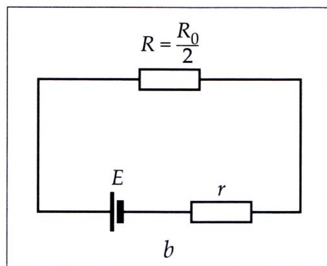
$$I = \frac{E}{r + \frac{R_0}{2}} = \frac{2E}{2r + R_0}. \quad (2)$$

Kadangi lempučių varža yra vienoda, tai kiekviena lempute tekės perpus silpnesnė elektros srovė:

$$I_1 = I_2 = \frac{E}{2r + R_0}. \quad (3)$$

1.8.5 pav.





Įrašykime fizikinių dydžių vertes ir apskaičiuokime:

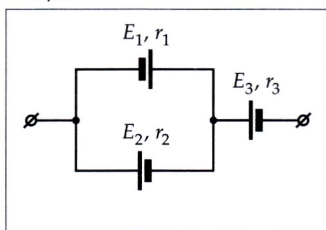
$$I_1 = I_2 = \frac{6\ \text{V}}{2 \cdot 0{,}2\ \Omega + 4\ \Omega} \approx 1{,}36\ \text{A}.$$

Atsakymas: 1,36 A.

Užduotys savarankiškam darbui

1. Akumuliatoriaus elektrovara 2 V. Kai išorine grandinės dalimi teka $2 \cdot 10^{-3}$ A stiprio elektros srovė, jo gnybtų įtampa lygi 1,84 V. Apskaičiuokite išorinę ir vidinę grandinės varžą. (0,92 Ω; 0,08 Ω)

1.8.6 pav.

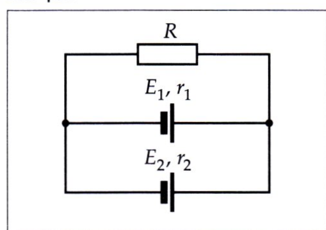


2. Bateriją sudaro trys elektros srovės šaltiniai (1.8.6 pav.). Jų elektrovara E_1 = 10 V, E_2 = 20 V, E_3 = 30 V, o vidinė varža $r_1 = r_2 = r_3$ = 1 Ω. Apskaičiuokite baterijos elektrovarą ir vidinę varžą. (35 V; 1,5 Ω)

3. Į elektrinę grandinę įjungto varžo varža yra n kartų didesnė už srovės šaltinio vidinę varžą. Kiek kartų šaltinio gnybtų įtampa yra mažesnė už jo elektrovarą, kuri lygi E?

$\left(\frac{n}{n+1}\ \text{kartų}\right)$

1.8.7 pav.



4. Elektrinę grandinę sudaro du srovės šaltiniai ir varžas (1.8.7 pav.). Pirmojo srovės šaltinio elektrovara 11 V, vidinė varža 0,5 Ω, antrojo šaltinio elektrovara 6 V, vidinė varža 1 Ω, varžo varža 5 Ω. Apskaičiuokite varžu tekančios elektros srovės stiprį. (1 A)

1.9. Elektros srovės darbas ir galia

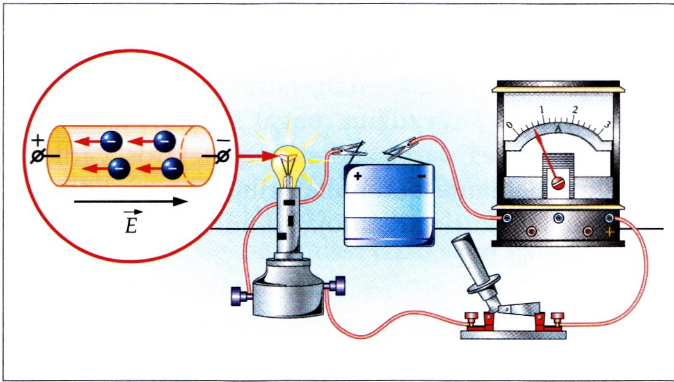
Pagrindinės sąvokos

Elèktros srovẽs dárbas,
elèktros srovẽs galià.

Elektros srovės darbas

Elektros srovei tekant laidininkais, elektronai juda kryptingai, veikiami elektrinio lauko (1.9.1 pav.). Jis atlieka darbą. Šį elektrinio lauko darbą įprasta vadinti ***elèktros srovẽs dárbu***.

Norėdami gauti matematinę elektros srovės darbo išraišką, remsimės elektrinės įtampos apibrėžimu: elektrinė įtampa lygi darbui, kurį atlieka elektrinis



1.9.1 pav.

laukas, perkeldamas vienetinį krūvį. Tarkime, kad elektrinis laukas vienalyčio laidininko dalimi (pavyzdžiui, elektros lemputės kaitinamuoju siūleliu) perkelia krūvį Δq (1.9.1 pav.). Tada lauko darbą galima išreikšti formule

$$A = U\Delta q. \tag{1.38}$$

Iš elektros srovės stiprio apibrėžimo išeina, kad $\Delta q = I\Delta t$. Vadinasi, elektrinio lauko, arba elektros srovės, atliekamas darbas lygus

$$A = IU\Delta t. \tag{1.39}$$

Elektros srovės darbas grandinės dalyje lygus elektros srovės stiprio, įtampos ir laiko, per kurį jis atliekamas, sandaugai.

Srovei atliekant darbą, elektros energija išorinėje grandinės dalyje virsta kitų rūšių energija: šildymo prietaisuose – šilumine, varikliuose – mechanine, apšvietimo lempose – šilumine ir šviesos energija.

1.39 formulė yra universali. Ji tinka visam elektros srovės darbui apskaičiuoti neatsižvelgiant į tai, kurios rūšies energija virsta elektros energija. Remdamiesi Omo dėsniu grandinės daliai, 1.38 formulę galime užrašyti kitaip:

$$A = \frac{U^2}{R}\Delta t, \tag{1.40}$$

arba

$$A = I^2R\Delta t. \tag{1.41}$$

1.40 formulę patogu taikyti, kai laidininkai grandinėje sujungti lygiagrečiai, mat tuo atveju vienoda yra jų gnybtų įtampa. 1.41 formulė labiau tinka nuosekliai sujungtiems laidininkams, nes visose grandinės

dalyse vienodas yra srovės stipris. 1.40 ir 1.41 formulės jau nėra universalios. Jos leidžia apskaičiuoti tik tą elektros energijos dalį, kuri imtuve virsta šilumine energija. Pavyzdžiui, pagal šias formules skaičiuodami srovės darbą, atliekamą elektros variklyje arba įkraunamame akumuliatoriuje, rasime elektros energijos dalį, kuri sunaudojama minėtų prietaisų laidininkams šildyti.

Džaulio ir Lenco dėsnis



Džeimsas Preskotas Džaulis

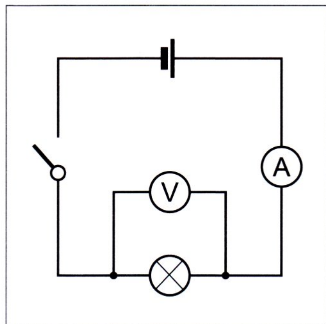
XIX a. anglų mokslininkas Džeimsas Preskotas Džaulis (*James Prescott Joule*, 1818–1889) ir atskirai nuo jo rusų fizikas ir elektrotechnikas Emilijus Lencas (*Emil Lenz*, 1804–1865) bandymais atrado dėsnį, pagal kurį galima nustatyti, kiek šilumos išsiskiria laidininkuose. Šis dėsnis formuluojamas taip: ***laidininke, kuriuo teka elektros srovė, išsiskiriančios šilumos kiekis lygus srovės stiprio kvadrato, laidininko varžos ir srovės tekėjimo trukmės sandaugai***. Matematinė jo išraiška yra

$$Q = I^2R\Delta t. \tag{1.42}$$

Džaulio ir Lenco dėsnį paaiškinti visiškai paprasta. Šilumos kiekis, kurį laidininke išskiria elektros srovė, lygus elektrinio lauko darbui. Lauko pagreitinti elektronai, susidurdami su kristalinės gardelės jonais, perduoda jiems dalį savo energijos. Dėl to jonai ima intensyviau svyruoti apie pusiausvyros padėtis, taigi jų energija, o kartu ir laidininko vidinė energija padidėja. Laidininkas įšyla (pakyla jo temperatūra) ir perduoda energiją aplinkos kūnams.

Elektros srovės darbo matavimas

1.9.2 pav.



Žemesnėse klasėse atlikdami laboratorinį darbą, mokėtės apskaičiuoti elektros srovės darbą. Teko jungti nesudėtingą elektrinę grandinę (1.9.2 pav.) ir joje matuoti srovės stiprį, įtampą bei srovės tekėjimo trukmę. Primename, kad, visus dydžius reikšdami SI vienetais, darbą apskaičiuojame *džauliais* (arba kitaip – *vatsekundėmis*).

Elektrotechnikoje vartojami ir kiti elektros srovės darbo matavimo vienetai: *vatvalandė* (Wh) ir *kilovat-*

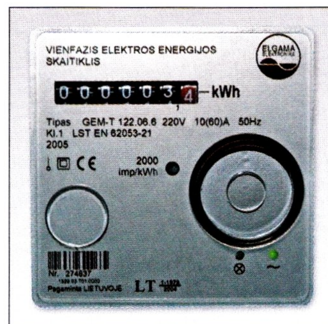
valandė (kWh). Su pagrindiniu vienetu – džauliu – jie susiję taip:

$$1\ \text{Wh} = 3{,}6 \cdot 10^3\ \text{J},$$

$$1\ \text{kWh} = 10^3\ \text{Wh} = 3{,}6 \cdot 10^6\ \text{J}.$$

Buityje elektros srovės darbas matuojamas specialiais prietaisais – elèktros skaitìkliais (1.9.3 pav.). Jie įrengiami butuose, namuose. Užfiksavę skaitiklio rodmenis mėnesio pradžioje ir pabaigoje, galime nustatyti, kiek per tą mėnesį suvartojome elektros energijos ir kiek už ją teks mokėti. Tačiau dar reikia žinoti tuo metu galiojantį elektros tarìfą, t. y. elektros srovės darbo vieneto kainą.

Elektros skaitiklio nurodoma leistinoji įtampa ir elektros srovė. Pavyzdžiui, kai ant jo korpuso užrašyta 220 V, 10 A, būsto elektrinėje grandinėje reikia įjungti saugiklį, numatytą ne stipresnei kaip 10 A srovei. Jei į tai neatsižvelgtume, įvykus trumpajam jungimui, elektros skaitiklis galėtų perdegti. Jis perdegtų ir į būsto elektrinę grandinę lygiagrečiai įjungus papildomų elektros energijos imtuvų, nes pilnutinė grandinės varža sumažėtų, o srovė sustiprėtų.

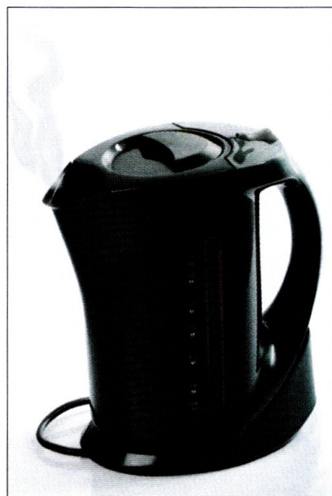


1.9.3 pav.

Elektros srovės galia

Mokydamiesi mechanikos, sužinojote, kad mechaninė galia apibūdina darbo atlikimo spartą. Fizikinis dydis, nusakantis elektros srovės atliekamo darbo spartą, vadinamas ***elèktros srovė̃s galià***. Ji gali būti skirtinga. Tuo nesunku įsitikinti buityje. Pavyzdžiui, senoviškame elektriniame arbatinyje 1,5 l vandens užverda per 10 min, o šiuolaikiniame (1.9.4 pav.) – per 2 min. Vadinasi, tą patį darbą skirtinguose arbatiniuose elektros srovė atlieka per nevienodą laiką. ***Elektros srovės galia lygi srovės atlikto darbo ir laiko, per kurį jis atliktas, santykiui:***

$$P = \frac{A}{\Delta t} = IU. \qquad (1.43)$$



1.9.4 pav.

Taikant Omo dėsnį grandinės daliai, elektros srovės galią galima išreikšti keliomis ekvivalenčiomis formulėmis:

$$P = IU = I^2R = \frac{U^2}{R}. \qquad (1.44)$$

Kaip ir mechaninės galios, elektros srovės galios SI matavimo vienetas yra *vãtas* (W). 1 W yra galia tokio elektros energijos imtuvo, kuris per 1 s atlieka 1 J darbą:

$$1\ \mathrm{W} = \frac{1\ \mathrm{J}}{1\ \mathrm{s}}.$$

Praktikoje dažnai vartojami kartotiniai galios vienetai – *kilovãtas* (kW) ir *megavãtas* (MW):

$$1\ \mathrm{kW} = 10^3\ \mathrm{W},$$
$$1\ \mathrm{MW} = 10^6\ \mathrm{W}.$$

Paprasčiausių prietaisų, pavyzdžiui, elektros lempučių, vartojamos srovės galia nurodoma ant korpuso, sudėtingesnių (šaldytuvų, skalbyklių, kompiuterių) – jų techniniame pase. Žinodami galią, galime numanyti, kokį darbą atliks elektros srovė, tekėdama prietaisu, ir įvertinti, kiek kainuos jo naudojimas. Srovės galia jungiamuosiuose laiduose dažnai vadinama elektros srovės galios nuostoliais.

Klausimai ir užduotys ??

1. Ką vadiname elektros srovės darbu? Kaip jis išreiškiamas?

2. Kokiais prietaisais matuojamas elektros srovės atliktas darbas?

3. Kodėl, elektros srovei tekant laidininkais, juose išsiskiria šiluma?

4. Kaip apskaičiuojamas laidininkuose išsiskyrusios šilumos kiekis?

5. Ant vienos elektros lemputės užrašyta 220 V, 40 W, ant kitos – 220 V, 100 W. Kurios lemputės varža didesnė?

6*. Įrodykite, kad dviejuose nuosekliai sujungtuose laidininkuose išsiskiria šilumos kiekiai, tiesiogiai proporcingi tų laidininkų varžoms, t. y. kad $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{R_1}{R_2}$.

7*. Įrodykite, kad dviejuose lygiagrečiai sujungtuose laidininkuose išsiskiria šilumos kiekiai, atvirkščiai proporcingi tų laidininkų varžoms, t. y. kad $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{R_2}{R_1}$.

8. Dulkių siurblys, kurio variklis numatytas 220 V įtampai ir 11 A elektros srovei, veikė 15 min. Kokį darbą per tą laiką atliko elektros srovė? (0,61 kWh)

9. Apskaičiuokite, kiek tenka mokėti už elektros energiją, kurią televizorius suvartoja per mėnesį. Visus reikalingus duomenis susiraskite patys.

10. Dešimt lygiagrečiai sujungtų lempų, numatytų 120 V įtampai, maitinamos per reostatą iš 220 V įtampos tinklo. Kiekvienos lempos varža 0,5 kΩ. Apskaičiuokite reostatu tekančios elektros srovės galią. (240 W)

11. Reostato vartojamos srovės galia 30 W, o gnybtų įtampa 15 V. Reostatas pagamintas iš nikelinės vielos, kurios skerspjūvio plotas 0,5 mm^2. Koks yra tos vielos ilgis? (8,9 m)

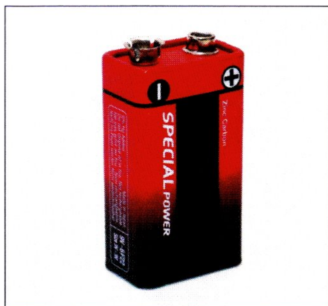
1.10. Buityje ir technikoje naudojami srovės šaltiniai

Elektros srovės šaltiniai, kuriuose cheminės reakcijos metu išsiskyrusi energija paverčiama elektros energija, buvo gerai žinomi jau XIX a. Pagal savo veikimo pobūdį jie skirstomi į galvaninius elementus (pirminius, arba vienkartinio naudojimo, srovės šaltinius) ir elektros akumuliatorius (antrinius, arba daugkartinio naudojimo, srovės šaltinius). Galvaniniuose elementuose aktyvioji cheminė medžiaga panaudojama tik vieną kartą. Jai išsieikvojus, elementas nustoja veikti. Elektros akumuliatorių veiklą galima atnaujinti, tereikia juos vėl įkrauti. Dėl to akumuliatorius prijungiamas prie elektros srovės šaltinio.

Galvaniniai elementai

Pirmuosius plačiai paplitusius galvaninius elementus, sudarytus iš cinko (neigiamojo elektrodo), mangano dioksido (teigiamojo elektrodo) ir amonio chlorido tirpalo (vėliau – tirštos pastos), 1865 m. išrado

prancūzas Žoržas Leklanšė (*George Leclanche*). Tokios sandaros pavieniai elementai ar jų baterijos naudojamos ir dabar buitiniuose elektroniniuose prietaisuose, elektroniniuose laikrodžiuose, žaisluose. Lietuvojè Leklanšė elementus iki 1997 m. gamino Klaĩpėdos gamykla „Sirijus".



1.10.1 pav.

Paplitus įvairiausios paskirties nešiojamiesiems elektroniniams prietaisams, išsiplėtė ir galvaninių elementų naudojimas. Dabar jų kasmet pagaminama net keliasdešimt milijardų. Buitiniams prietaisams maitinti naudojami įvairių rūšių galvaniniai elementai (1.10.1 pav.), kurie skiriasi dydžiu, talpa ir kaina. Šiuo metu dažniausiai naudojami tokie:

1. Cinko-anglies elementai. Jie yra nedidelės talpos, pigūs, tačiau jų elektrinės talpos ir masės derinys nėra optimalus.

2. Ličio-mangano dioksido elementai. Jų talpa maždaug 10 kartų didesnė negu cinko-anglies elementų, gerokai ilgesnė naudojimo trukmė, tačiau jie yra brangesni.

3. Ličio elementai. Jie gerai atlaiko perkrovas, todėl dedami į fotoaparatus.

Be išvardytų, gaminami ir kitokių rūšių elementai, pavyzdžiui, oro-cinko, cinko-gyvsidabrio oksido ir cinko-sidabro oksido elementai miniatiūriniams įtaisams (pavyzdžiui, klausos aparatams), sidabro-cinko elementai kosminiams aparatams maitinti. Kad galvaninių elementų ar jų baterijų maitinamas prietaisas veiktų patikimai, reikia naudoti tik jam skirtus vienos rūšies elementus.

Elektros akumuliatoriai

Nešiojamiesiems įtaisams maitinti dažnai naudojami įvairūs akumuliatoriai (1.10.2 pav., *a*, *b* ir *c*). Apskaičiuota, kad šiuo metu visų automobilių akumuliatorių energija prilygsta visų Žemėje veikiančių elektrinių gaminamai energijai (tačiau akumuliatoriai didesnę laiko dalį būna išjungti).

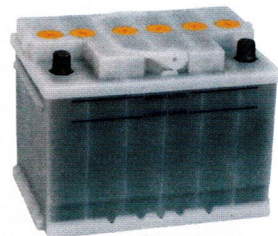
Pirmąjį rūgštinį (švino) akumuliatorių 1859 m. išrado prancūzų fizikas Gastonas Plantė (*Gaston Plante*). Jis sudarytas iš metalinio švino ir švino dioksido plokštelių, įmerktų į sieros rūgšties tirpalą. Per pastarąjį šimtmetį šis akumuliatorius iš esmės mažai tepa-

kito: buvo pagerinta plokštelių kokybė ir kartu padidinta santykinė energija, tenkanti šaltinio masės vienetui. Akumuliatorius pradėjus gaminti iš polipropileno, gerokai sumažėjo jų masė. XX a. pradžioje atsirado ir vadinamieji šarminiai akumuliatoriai, sudaryti iš nikelio hidroksido ir geležies arba kadmio elektrodų. Pastaruoju metu, be jau minėtų šarminių ir rūgštinių akumuliatorių, dažniausiai naudojami nikelio-kadmio, nikelio-metalo hidrido ir ličio jonų akumuliatoriai. Rūgštiniai (švino) akumuliatoriai gali trumpai tiekti labai stiprią srovę. Jie naudojami automobiliuose ir palyginti sunkiuose nešiojamuosiuose įtaisuose (pavyzdžiui, didelėse mėgėjiškose vaizdo kamerose). Pagrindinis švino akumuliatorių trūkumas – didelė masė, tačiau jie palyginti pigūs. Švino akumuliatorių negalima laikyti iškrautų, juos reikia kuo greičiau įkrauti, antraip jie kaipmat praras talpą. Nikelio-kadmio akumuliatoriai naudojami mobiliuosiuose telefonuose, vaizdo kamerose. Nikelio-kadmio akumuliatoriams būdinga vadinamoji „likusios įkrovos atmintis“. Įkraunant ne visiškai iškrautą akumuliatorių, kitą kartą jis neišsikrauna iki galo. Norėdami pailginti nikelio-kadmio akumuliatorių naudojimo trukmę, neskubėkime jų krauti, leiskime jiems išsikrauti iki galo. Nikelio-metalo hidrido akumuliatoriai yra beveik dvigubai talpesni už nikelio-kadmio akumuliatorius ir tarnauja 40 % ilgiau. Jie naudojami kompiuteriuose, skaitmeniniuose fotoaparatuose, elektroniniuose muzikos instrumentuose, vaizdo kamerose ir kituose daug energijos vartojančiuose nešiojamuosiuose įtaisuose.

Akumuliatorius, pasibaigus jų naudojimo trukmei, reikia perdirbti. Jų jokiu būdu negalima išmesti su kitomis šiukšlėmis, nes nikelis, kadmis ir švinas labai teršia gamtą.

Patys naujausi yra ličio jonų akumuliatoriai. Jie pasižymi optimaliu elektrinės talpos ir masės deriniu, mažiau kenkia aplinkai, tačiau yra brangūs. Tokie akumuliatoriai naudojami brangiuose prietaisuose: mobiliuosiuose telefonuose, nešiojamuosiuose kompiuteriuose, vaizdo kamerose. Panaudoti ličio jonų akumuliatoriai mažai kenkia aplinkai.

Dėl oksidacijos akumuliatoriai negrįžtamai praranda didelę dalį savo talpos, nesvarbu, ar jie veikia, ar



a

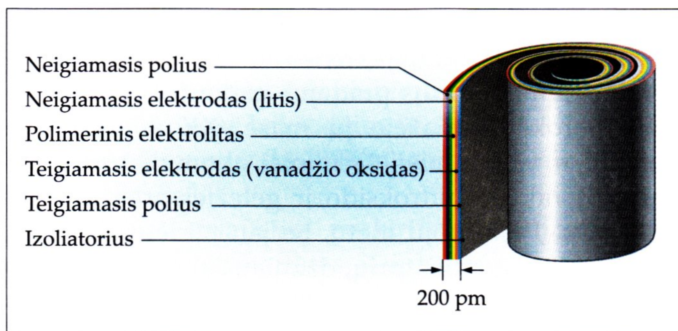


b



c

1.10.2 pav.



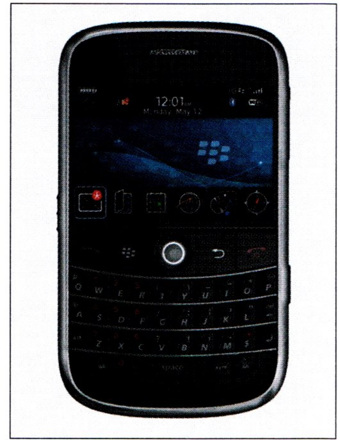
1.10.3 pav.

ne. Todėl nepatariama įsigyti atsarginių akumuliatorių. Akumuliatoriaus naudojimo trukmę trumpina tiesioginiai saulės spinduliai, netoliese esantys šilumos šaltiniai, vibracija, smūgiai. Pastaruoju metu pradėti gaminti naujos rūšies ličio jonų akumuliatoriai su polimeriniu elektrolitu – jonams laidžia plona plėvele. Jie yra dvejopos formos: cilindriniai ir plokštieji. Cilindriniai akumuliatoriai susideda iš suvyniotos daugiasluoksnės plėvelės (1.10.3 pav.), kurią sudaro teigiamasis ir neigiamasis polius, teigiamasis ir neigiamasis elektrodas, polimerinis elektrolitas ir izoliatoriaus sluoksnis. Tuo pačiu principu gaminami ir plokštieji ličio jonų akumuliatoriai. Jie susideda iš plokščių sluoksnių, kurie gali būti nepaprastai ploni – kreditinės kortelės storio. Tokios konstrukcijos akumuliatorių elektrodų ir elektrolito paviršius yra labai didelis, todėl jie gali sukurti stiprią srovę. Ličio jonų polimerinių akumuliatorių gamintojai teigia, kad šie akumuliatoriai yra beveik dvigubai talpesni už įprastinius.

Naujų konstrukcijų akumuliatoriai

Tokie akumuliatoriai vadinami atmintìniais (*Smart Bateries*), nes juose esantis įrenginys (lustas) matuoja akumuliatoriaus parametrus ir juos įsimena. Duomenis lustas įrašo į atmintinę. Pastoviais intervalais jis tikrina momentinę akumuliatoriaus įtampą ir srovę ir numato, kiek laiko akumuliatorių bus galima naudoti iki įkrovimo, kokia srove krauti ir kada baigti įkrovą. Šie duomenys perduodami į kompiuterio ar mobiliojo telefono indikatorių ir pateikiami tam tikro aukščio stulpeliu arba skaičiais (1.10.4 paveiksle tai rodo stul-

pelis kairiajame viršutiniame ekrano kampe). Informacija apie akumuliatoriaus būklę labai reikalinga nešiojamojo kompiuterio ar mobiliojo telefono savininkui.



1.10.4 pav.

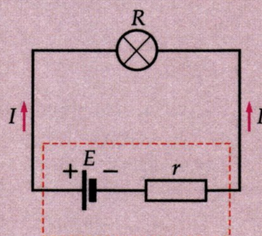
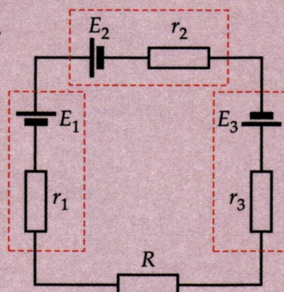
Kuro elementai

Alternatyva akumuliatoriams – vadinamieji kuro elementai, tiesiogiai verčiantys kuro oksidacijos energiją elektros energija. Jų veikimas pagrįstas deguonies ir vandenilio reakcija, kurios metu išsiskiria elektros energija ir susidaro vanduo. Deguonies ir vandenilio reakciją 1839 m. atrado anglų chemikas Viljamas Grovas (*William Grove*). Praktikoje kuro elementai buvo pritaikyti XX a. septintajame dešimtmetyje. Jie aprūpino NASA ekspedicijas į Mėnulį. Kuro elementai naudoja ne juos sudarančias medžiagas, bet iš išorės gaunamą kurą: vandenilį, metanolį, etanolį, skruzdžių rūgštį ir kt. Tikimasi, kad toks energijos šaltinis nešiojamąjį kompiuterį galės maitinti keliolika valandų, o mobilųjį telefoną – keletą savaičių.

Skyriaus „Nuolatinė elektros srovė" apibendrinimas

Elektros srovė	Elektros srove vadinamas kryptingas elektringųjų dalelių judėjimas.
Elektros srovės stipris	Elektros srovės stipris (I) lygus elektros krūvio (Δq), pratekančio laidininko skerspjūviu per tam tikrą laiką (Δt), ir to laiko santykiui: $$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}.$$
Elektros srovės kryptis	Elektros srovės kryptimi laikoma teigiamųjų elektringųjų dalelių judėjimo kryptis. I I A − + I I
Elektrinė varža	Elektrinė varža yra fizikinis dydis, apibūdinantis laidininko pasipriešinimą elektros srovės tekėjimui. Varža priklauso nuo laidininko matmenų ir medžiagos, iš kurios jis pagamintas: $$R = \frac{\rho l}{S};$$ čia R – elektrinė varža, ρ – savitoji elektrinė varža, l – laidininko ilgis, S – skerspjūvio plotas.
Voltamperinė charakteristika	Voltamperine charakteristika vadinama kuria nors grandinės dalimi tekančios elektros srovės stiprio priklausomybė nuo tos dalies įtampos. I 0 U

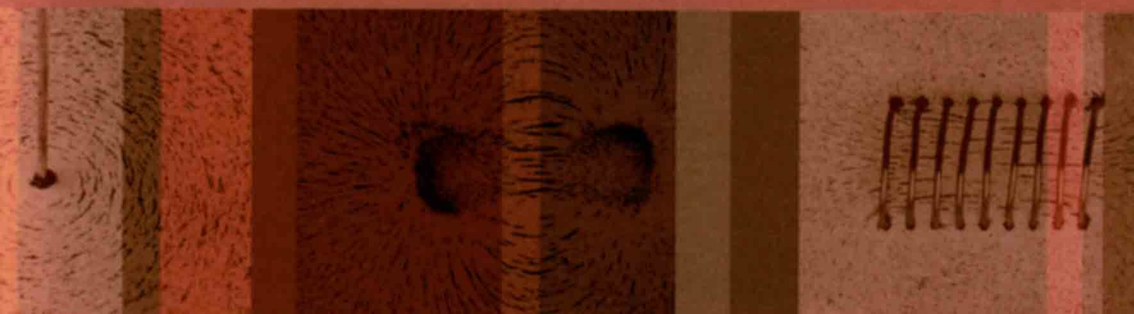
Omo dėsnis grandinės daliai	Elektros srovės stipris (I) grandinės dalyje yra tiesiogiai proporcingas tos dalies įtampai (U) ir atvirkščiai proporcingas varžai (R): $$I=\frac{U}{R}.$$
Nuoseklusis laidininkų jungimas	Nuosekliuoju vadinamas toks jungimas, kai laidininkai į grandinę jungiami paeiliui vienas po kito. R_1 R_2
Nuosekliojo laidininkų jungimo taisyklės	1. Nuosekliosios grandinės dalimis teka vienodo stiprio elektros srovė: $$I = I_1 = I_2.$$ 2. Nuosekliosios grandinės įtampa lygi atskirų dalių įtampų sumai: $$U = U_1 + U_2.$$ 3. Nuosekliosios grandinės atskirų dalių įtampos yra tiesiogiai proporcingos jų varžoms: $$\frac{U_1}{U_2}=\frac{R_1}{R_2}.$$ 4. Nuosekliosios grandinės pilnutinė varža lygi atskirų dalių varžų sumai: $$R = R_1 + R_2.$$
Lygiagretusis laidininkų jungimas	Lygiagrečiuoju vadinamas toks jungimas, kai vieni grandinės elementų gnybtai jungiami į vieną mazgą, o kiti – į kitą mazgą. R_1 R_2
Lygiagrečiojo laidininkų jungimo taisyklės	1. Visų lygiagrečiai sujungtų grandinės šakų įtampa yra vienoda: $$U_1 = U_2 = U.$$ 2. Į grandinės mazgą įtekanti srovė (arba įtekančių srovių suma) lygi iš jo ištekančių srovių sumai: $$I = I_1 + I_2.$$

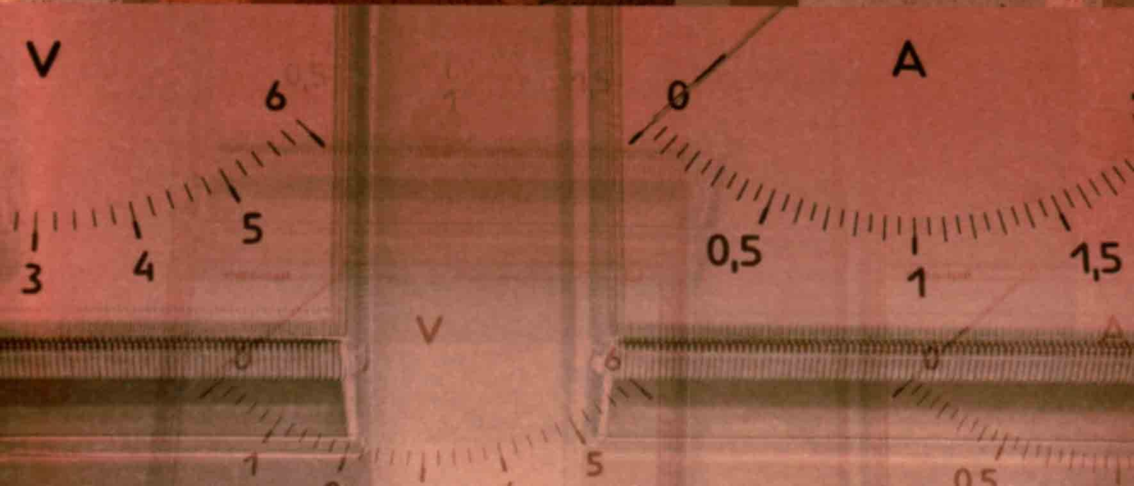
	3. Atskiromis šakomis tekančių srovių stipriai yra atvirkščiai proporcingi tų dalių varžoms: $$\frac{I_1}{I_2}=\frac{R_2}{R_1}.$$ 4. Kai laidininkai sujungti lygiagrečiai, fizikinis dydis, atvirkščias pilnutinei grandinės dalies varžai, lygus sumai dydžių, atvirkščių lygiagrečiai sujungtų laidininkų varžoms: $$\frac{1}{R}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}.$$
Elektrovara	Darbo ($A_{paš}$), kurį atlieka pašalinės jėgos, perkeldamos teigiamąjį krūvį (Δq) uždaru kontūru, ir to krūvio santykis vadinamas elektrovara: $$E=\frac{A_{paš}}{\Delta q}.$$
Omo dėsnis uždarajai grandinei	Elektros srovės stipris (I) uždarojoje grandinėje yra tiesiogiai proporcingas srovės šaltinio elektrovarai (E) ir atvirkščiai proporcingas pilnutinei grandinės varžai ($R + r$): $$I=\frac{E}{R+r}.$$ 
Omo dėsnis uždarajai grandinei, kurioje yra keletas nuosekliai sujungtų srovės šaltinių	Srovės stipris (I) elektrinėje grandinėje, kurioje srovės šaltiniai sujungti nuosekliai, yra tiesiogiai proporcingas algebrinei elektrovarų sumai ($E_1 + E_2 + E_3$) ir atvirkščiai proporcingas pilnutinei grandinės varžai ($r_1 + r_2 + r_3 + R$): $$I=\frac{E_1+E_2+E_3}{r_1+r_2+r_3+R}.$$ 

Elektros srovės darbas	Elektros srovės darbas (A) grandinės dalyje lygus elektros srovės stiprio (I), įtampos (U) ir laiko (Δt), per kurį jis atliekamas, sandaugai: $$A = IU\Delta t.$$
Džaulio ir Lenco dėsnis	Laidininke, kuriuo teka elektros srovė, išsiskiriančios šilumos kiekis (Q) lygus srovės stiprio (I) kvadrato, laidininko varžos (R) ir srovės tekėjimo trukmės (Δt) sandaugai: $$Q = I^2R\Delta t.$$
Elektros srovės galia	Elektros srovės galia (P) lygi srovės atlikto darbo (A) ir laiko (Δt), per kurį jis atliktas, santykiui: $$P = \frac{A}{\Delta t} = IU.$$



Elektra





2 Magnetinis laukas

Nagrinėdami šį skyrių, prisiminsite magnetinio lauko šaltinius: nuolatinius magnetus ir elektros srovę, praplėsite žinias apie magnetinio lauko jėgų linijas, susipažinsite su svarbiausia magnetinio lauko charakteristika – magnetinės indukcijos vektoriumi, mokysitės apskaičiuoti Ampero jėgą, veikiančią laidininką, kuriuo teka elektros srovė. Žinių apie Ampero jėgą prireiks aiškinant elektros variklio veikimą.

2.1. Magnetinio lauko šaltiniai

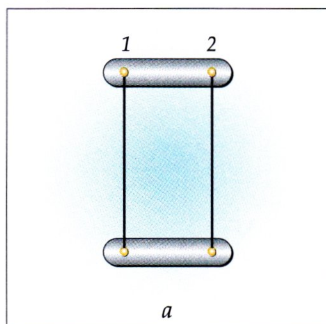
Pagrindinės sąvokos

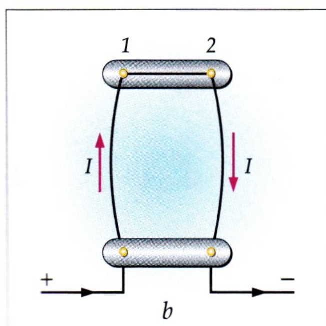
Magnètinis laũkas, nuolatìnis magnètas, magnètinis põlius, magnètinė rodỹklė, magnetosferà, magnètinės aũdros.

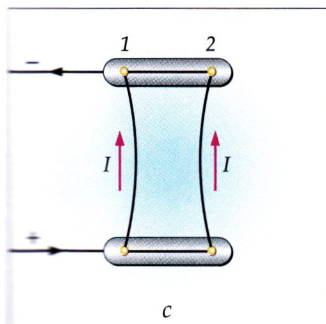
Primename, kad lauku fizikoje įprasta vadinti žmogaus nejuntamą materijos formą. Vienos rūšies lauką – elektrinį – jau nagrinėjote praėjusiais metais, mokydamiesi elektrostatikos. Apie kitą lauką – magnetinį – šiek tiek žinote iš pagrindinės mokyklos fizikos kurso. Dabar kai ką prisiminę tas žinias praplėsime.

Magnetinis laukas. Elektros srovių sąveika

2.1.1 pav.







Kaip sąveikauja elektros krūvį turinčios dalelės, jau žinome. Išsiaiškinkime, kaip veikia vienas kitą laidininkai, kuriais teka elektros srovė. Sakykime, du lankstūs laidininkai yra įtvirtinti vertikaliai (2.1.1 pav., *a*). Jie neveikia vienas kito. Sujungę jų galus taip, kad elektros srovė laidininkais tekėtų priešinga kryptimi, matytume, jog laidininkai ima stumti vienas kitą (2.1.1 pav., *b*). Kai srovė laidininkais teka ta pačia kryptimi, jie traukia vienas kitą (2.1.1 pav., *c*). Kodėl laidininkai sąveikauja, kai jais teka srovė?

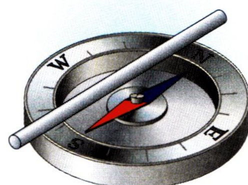
Pagal artiveikos teoriją laidininkai negali veikti vienas kito tiesiogiai. Aplink kiekvieną laidininką, kuriuo teka srovė, yra kažkokia žmogaus nejuntama materija – laukas. Tačiau tai negali būti elektrinis laukas, nes bandymai rodo, kad judančių elektringųjų dalelių jis neveikia. Lauką, per kurį sąveikauja nutolusios viena nuo kitos elektros srovės, priimta vadinti magnetiniu lauku. Taigi ***magnètinis laũkas yra ypatingos formos materija, sudaranti sąlygas sąveikauti judančioms elektringosioms dalelėms.***

2.1.1 paveiksle, *b* ir *c*, pavaizduotus reiškinius galima paaiškinti taip: *1* laidininku tekanti srovė sukuria aplink save magnetinį lauką, kuris veikia 2 laidininku tekančią srovę. Ši savo ruožtu sukuria magnetinį lauką, veikiantį *1* laidininku tekančią srovę. Bandymais nustatytos tokios svarbiausios magnetinio lauko savybės:

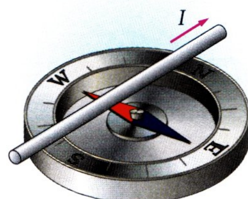
- magnetinis laukas egzistuoja realiai, nepriklausomai nuo mūsų žinių apie jį;

- magnetinis laukas veikia judančias elektringąsias daleles;
- magnetinį lauką sukuria tik judantys elektros krūvininkai.

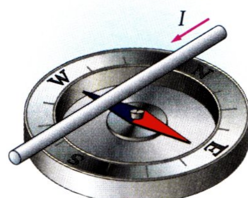
Elektros srovės kuriamą magnetinį lauką 1820 m. pirmasis aptiko danų fizikas Hansas Kristianas Erstedas (*Hans Christian Oersted*, 1777–1851). Jis bandymais įrodė, kad laidininku tekanti srovė veikia magnetinę rodyklę – pasuka ją taip, kad ši būtų statmena srovės tekėjimo krypčiai (2.1.2 pav.). Taip bandymais pirmą kartą buvo atskleistas ryšys tarp elektrinių ir magnetinių reiškinių. Gamtoje jis nustatytas gerokai anksčiau. Pastebėta, kad žaibas įmagnetina geležį, permagnetina kompasus.



a



b



c

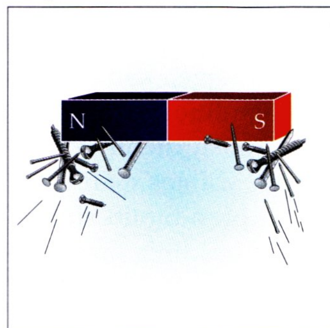
2.1.2 pav.

Nuolatiniai magnetai

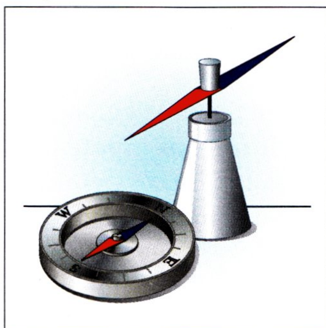
Žodis „magnetas", išverstas iš graikų kalbos, reiškia Magnèzijos akmenį. (Magnezija – Mažõsios Ãzijos miestas.) Istorija byloja, kad būtent čia aptikta akmenų, traukiančių geležinius daiktus.

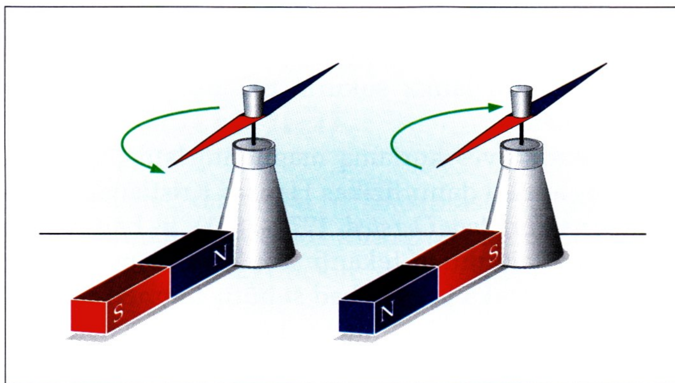
Ilgainiui žmonės magnetus išmoko pasigaminti. Pakako iš specialių rūšių plieno padarytus strypus įnešti į stiprų magnetinį lauką. Šiam nustojus veikti, strypai likdavo įmagnetinti. Kūnai, išlaikantys įmagnetėjimą, vadinami ***nuolatìniais magnètais***. Nuolatiniai magnetai traukia kitus kūnus, turinčius geležies. Stipriausiai juos veikia magneto galai, vadinami ***magnètiniais põliais***, silpniausiai – vidurinė magneto dalis (2.1.3 pav.). Mažas pailgas magnetėlis, įtvirtintas ant smailios ašies, vadinamas ***magnètine rodyklè***. Jeigu arti magnetinės rodyklės nėra kitų laukų, ji pasisuka taip, kad vienas jos galas rodo šiaurę, o kitas – pietus (2.1.4 pav.).

2.1.3 pav.

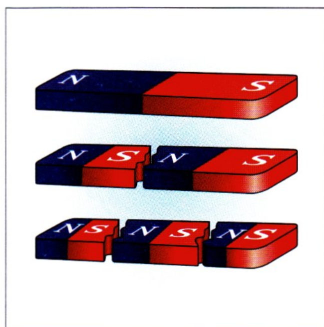


2.1.4 pav.





2.1.5 pav.



2.1.6 pav.

Į šiaurę pasisukantis galas vadinamas ***šiáurės magnètiniu põliumi*** ir žymimas raide **N**, o pasisukantis į pietus – ***pietų̃ magnètiniu põliumi*** ir žymimas raide **S**. Jau žinote, kad vienavardžiai magneto poliai vienas kitą stumia, įvairiavardžiai traukia (2.1.5 pav.).

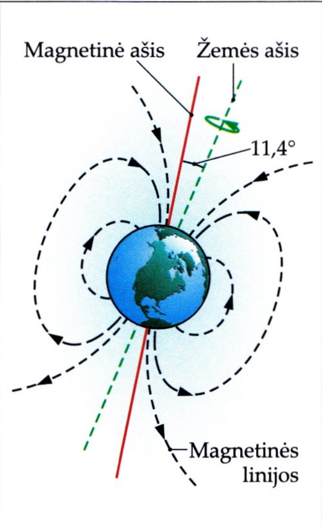
Magneto polių perskirti neįmanoma. Tai dar XVI a. aprašė anglų fizikas ir gydytojas Viljamas Gilbertas (*William Gilbert*, 1544–1603). Perpjovus magnetą pusiau, abi jo dalys turės po du polius. Kiekvienas gabalas vėl bus magnetas, tik mažesnis (2.1.6 pav.).

Žemės magnetinis laukas

Senovės Kìnijoje pastebėta, kad iš mineralo magnetito (Fe_3O_4) pagamintas pailgas strypelis, pakabintas ant siūlo arba padėtas ant plūdės vandenyje, pasisuka šiaurės–pietų kryptimi. Būtent toks plūduriuojantis magnetas buvo naudojamas kaip kòmpasas. Įprastą (magnetinės rodyklės) pavidalą jis įgavo tik XIV a. Žemės rutulys veikia magnetinę rodyklę. Kad Žemė yra didžiulis magnetas, dar XVI a. manė Viljamas Gilbertas, tačiau jis nesugebėjo paaiškinti Žemės magnetinio lauko atsiradimo priežasties. Prancūzų fizikas ir matematikas Andrė Mari Amperas (*Andre-Marie Ampere*, 1775–1836) teigė, kad Žemės magnetizmą sukelia jos viduje cirkuliuojančios elektros srovės. Ši hipotezė išliko iki mūsų dienų. Manoma, kad, Žemei sukantis apie savo ašį, jos mantija su kietąja pluta, slysdamos išoriniu branduolio sluoksniu, sukasi šiek tiek greičiau negu vidinis branduolys, todėl branduolio elektronų ir mantijos bei plutos elektronų greičiai skiriasi. Toks elektronų judėjimas

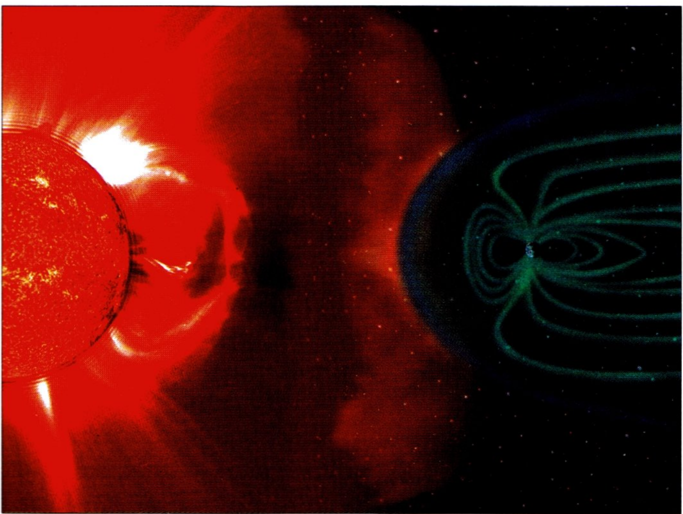
sukuria gamtinį srovės generatorių, o srovė – magnetinį lauką. Žemės gelmių sukurto magnetinio lauko stipris sudaro iki 95 % viso Žemės paviršiuje esančio magnetinio lauko stiprio. Kiti 5 % yra Saulės spinduliuojamų elektringųjų dalelių srautas, elektringosios dalelės, judančios jonosferoje ir magnetosferoje, įsimagnetinusios Žemės plutos uolienos.

Žemės magnetinio lauko ašis pakrypusi 11,4° kampu į jos sukimosi ašį (2.1.7 pav.). Žemės rutulį supanti erdvė, kurioje reiškiasi magnetinis laukas, vadinama ***magnetosferà***, o Žemės paviršiaus ir magnetosferos ašies sankirtos taškai – ***magnètiniais Žẽmės põliais***. Liekamasis uolų magnetizmas rodo, kad du kartus per milijoną metų Žemės magnetinis laukas keičia kryptį (šiaurės ir pietų magnetiniai poliai susikeičia vietomis). Dabar pietų magnetinis polius (traukiantis kompaso rodyklės šiaurės polių) yra Kanãdos šiaurėje, prie Karalienės Elžbietos salų. Nuo Šiaurės ašigalio jis nutolęs apie 1600 km. Šiaurės magnetinis polius yra į pietus nuo Austrãlijos. Žemės magnetinis laukas vaizduojamas magnetiniais žemėlapiais. Jie naudojami jūrų ir oro navigacijoje, geologijoje. Lietuvõs magnetinį žemėlapį 1930 m. pradėjo kurti akademikas Povilas Brazdžiūnas (1897–1986).



2.1.7 pav.

Žemės magnetinis laukas yra nesimetriškas (2.1.8 pav.). Jį deformuoja iš Saulės sklindantis greitų elektringųjų dalelių srautas, vadinamas Saulės vėju. Saulės pusėje laukas yra tarytum suspaustas, tęsiasi apie



2.1.8 pav.

6000 km, priešingoje pusėje – ištęstas, driekiasi net 100 kartų toliau.

Žemės magnetiniame lauke vyksta pokyčiai. Trumpalaikiai jo sutrikimai vadinami ***magnètinėmis audromìs***. Jos susijusios su Saulės aktyvumo padidėjimu. Magnetinių audrų metu suintensyvėja poliarinės pašvaistės, suaktyvėja ciklonai troposferoje, sutrinka radijo ryšys.

Klausimai ir užduotys ??

1. Ką vadiname magnetiniu lauku? Išvardykite svarbiausias jo savybes.

2. Kas yra magnetinio lauko šaltiniai?

3. Paaiškinkite, kodėl aplink nuolatinius magnetus atsiranda magnetinis laukas.

4. Remdamiesi artiveikos teorija, paaiškinkite magnetinės rodyklės ir laidininko, kuriuo teka elektros srovė, sąveiką.

5. Tikriausiai pastebėjote, kad troleibuso liniją sudaro du laidai. Mokydamiesi šią temą, sužinojote, kad laidai, kuriais teka elektros srovė, sąveikauja. Paaiškinkite, kaip vienas kitą veikia troleibuso linijos laidai.

2.2. Magnetinės linijos. Magnetinės indukcijos vektorius

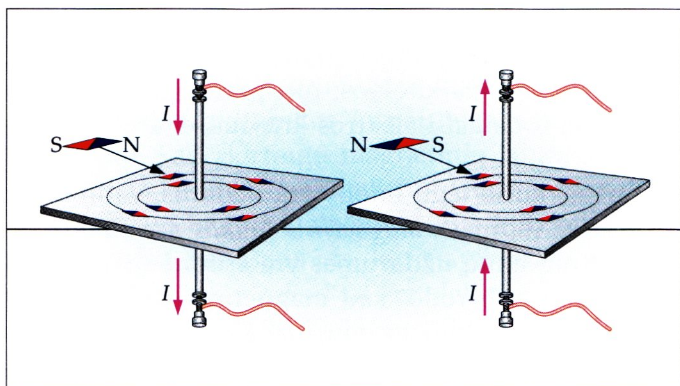
Pagrindinės sąvokos

Magnètinio laũko jėgũ lìnijos, sūkurìnis laũkas, magnètinės indùkcijos vèktorius.

Magnetinio lauko jėgų linijų samprata

Iš žemesniųjų klasių kurso žinote, kad magnetinį lauką galima pavaizduoti jo jėgų linijomis, mokate nustatyti jų kryptį. Magnetinio lauko jėgų linijos yra neregimos, tačiau, atliekant bandymus, jas galima „pamatyti“. Prisiminkime tuos bandymus.

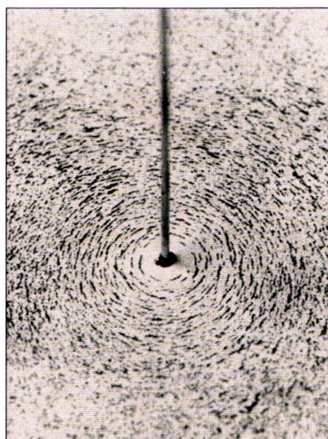
Magnetinė rodyklė, veikiama magnetinio lauko jėgų (magnetinių jėgų), pasisuka. Todėl ją naudojant



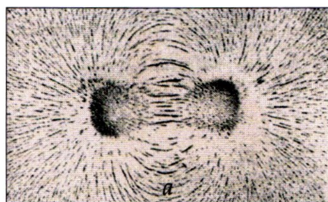
2.2.1 pav.

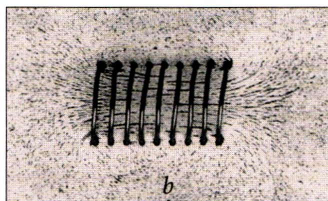
galima ištirti, kaip išsidėsčiusios linijos, išilgai kurių veikia magnetinės jėgos. Aplink nuolatinį magnetą arba aplink laidininką, kuriuo teka elektros srovė, reikia išdėlioti daug mažų magnetinių rodyklių (2.2.1 pav.). Įvairiuose taškuose jos pasisuks skirtingai. ***Linijos, išilgai kurių magnetiniame lauke išsidėsto magnetinės rodyklės, vadinamos magnètinio laũko jėgų lìnijomis, arba magnètinėmis lìnijomis.***

Magnetiniame lauke paberę smulkių geležies drožlių, galime nustatyti, kaip išsidėsčiusios magnetinės linijos. Geležies gabalėliai, atsidūrę magnetiniame lauke, įsimagnetina ir virsta tarsi mažytėmis magnetinėmis rodyklėlėmis, kurios išsidėsto išilgai lauko jėgų linijų. Kadangi rodyklėlių yra nepaprastai daug, tai galima matyti gana tikslų magnetinio lauko jėgų linijų vaizdą. Grandinėlės, kurias magnetiniame lauke sudaro geležies drožlės, rodo magnetinių linijų formą. 2.2.2 paveiksle pavaizduotos tiesiu laidininku tekančios elektros srovės sukurto magnetinio lauko jėgų linijos. Jos yra koncentriniai apskritimai, išsidėstę laidininkui statmenoje plokštumoje. Apskritimų centras – laidininko ašyje. 2.2.3 paveiksle matote nuolatinio magneto (*a*) ir ritės (*b*), kuria teka srovė, sukurtų magnetinių laukų jėgų linijas.



2.2.2 pav.





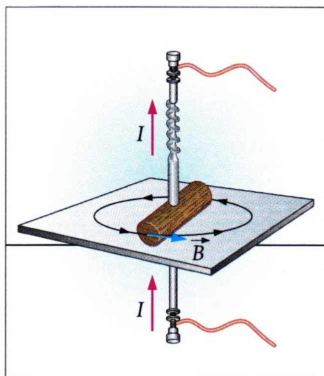
2.2.3 pav.

Magnetinio lauko jėgų linijų savybės

Magnetinio lauko jėgų linijos niekur nesikerta. Per kiekvieną erdvės tašką eina tik viena linija. Dar viena labai svarbi magnetinio lauko jėgų linijų savybė yra ta, kad jos yra uždaros, t. y. neturi nei pradžios, nei

pabaigos, ir apjuosia laidininką, kuriuo teka elektros srovė (žr. 2.2.2 pav.). Prisiminkime, kad elektrinio lauko jėgų linijos yra kitokios: turi pradžią ir pabaigą – prasideda ir baigiasi elektros krūviuose (arba begalybėje).

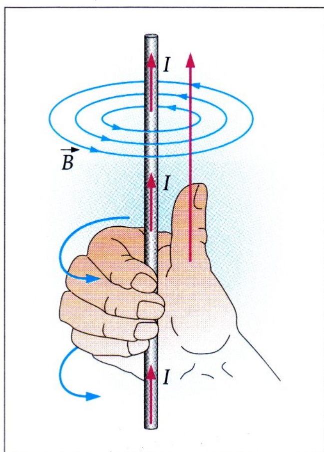
Laukas, kurio jėgų linijos yra uždaros, vadinamas ***sūkuriniù***. Vadinasi, ***magnetinis laukas yra sūkurinis***. Magnetinių linijų uždarumas yra esminė magnetinio lauko savybė. Ji rodo, kad magnetinis laukas neturi šaltinių. Magnetinių krūvių, panašių į elektros krūvius, gamtoje nėra. Iš magnetinių linijų išsidėstymo galima spręsti apie magnetinio lauko vienalytiškumą. Vienalyčio magnetinio lauko jėgų linijos yra lygiagrečios tiesės, nutolusios viena nuo kitos vienodu atstumu.



2.2.4 pav.

Magnetinio lauko jėgų linijų kryptis

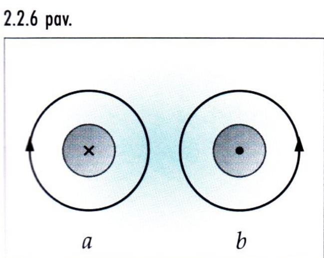
Magnetinio lauko jėgų linijų kryptimi susitarta laikyti kryptį, kurią rodo magnetinės rodyklės šiaurės polius. Magnetinio lauko jėgų linijų kryptis susijusi su laidininku tekančios srovės kryptimi. Tai patvirtina bandymai. Pakeitus srovės tekėjimo laidininku kryptį, pakinta ir magnetinių rodyklių kryptis (2.2.1 pav.).



2.2.5 pav.

Magnetinio lauko jėgų linijų ir elektros srovės krypčių ryšį galima nusakyti ***sráigto*** arba ***dešinė̃s rañkos taisỹklėmis***. Sraigto taisyklė teigia: ***kai sraigto slenkamojo judėjimo kryptis sutampa su laidininku tekančios srovės kryptimi, jo rankenos sukimosi kryptis rodo magnetinio lauko jėgų linijų kryptį*** (2.2.4 pav.). Dešinės rankos taisyklė formuluojama taip: ***jei laidininką, kuriuo teka elektros srovė, apimsime dešine ranka taip, kad ištiestas nykštys rodytų srovės kryptį, tai kiti keturi pirštai rodys magnetinio lauko jėgų linijų kryptį*** (2.2.5 pav.).

2.2.6 pav.



Braižydami brėžinius, laidininką galime vaizduoti brėžinio plokštumoje arba jai statmenoje plokštumoje. Pastaruoju atveju, norėdami parodyti laidininku tekančios srovės kryptį, laikomės tam tikro susitarimo. Jeigu srovė teka į mus, rašome ženklą $\odot$, jeigu nuo mūsų – ženklą $\otimes$. 2.2.6 paveiksle pavaizduoti magnetiniai laukai, kuriuos sukuria brėžinio plokštumai statmenais laidininkais tekančios srovės.

Magnetinės indukcijos vektorius

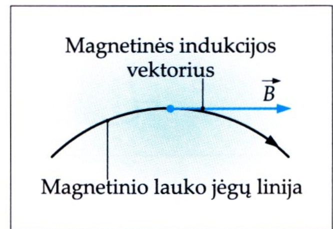
Magnetinis laukas orientuoja magnetinę rodyklę, taip pat veikia laidininkus, kuriais teka elektros srovė. Akivaizdu, kad skirtingų magnetinių laukų poveikis rodyklei ir laidininkams gali būti nevienodas. Taigi magnetiniam laukui kiekybiškai nusakyti reikia fizikinio dydžio, panašaus į tą, kuris apibūdina elektrinį lauką. (Prisiminkime, kad tai yra elektrinio lauko stipris $\vec{E}$.) Bandymai (2.2.1 pav.) rodo, kad magnetiniame lauke magnetinė rodyklė nusistovi tam tikra kryptimi. Vadinasi, magnetinį lauką apibūdinantis fizikinis dydis, susijęs su rodyklės orientacija, turi būti vektorinis. Tas dydis vadinamas ***magnètinės indùkcijos vèktoriumi*** ir žymimas $\vec{\boldsymbol{B}}$.

Vektoriniai dydžiai, kaip žinome, apibrėžiami jų skaitine verte (mòduliu) ir kryptimi. Tad koks yra magnetinės indukcijos vektoriaus modulis ir kokia kryptis?

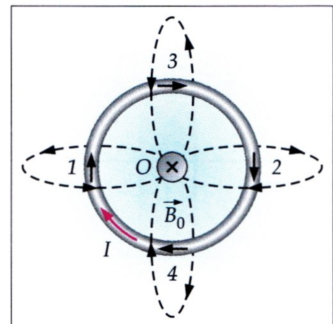
Magnetinės indukcijos vektorius $\vec{B}$ nukreiptas išilgai magnetinio lauko jėgų linijų liestinės (2.2.7 pav.). Vadinasi, ***magnetinės indukcijos vektoriaus*** $\vec{\boldsymbol{B}}$ ***kryptis bet kuriame lauko taške sutampa su magnetinio lauko jėgų linijų liestine, nubrėžta per tą tašką***. Todėl magnetinio lauko jėgų linijas dar galima vadinti magnetinės indukcijos linijomis, arba trumpiau – magnetinėmis linijomis. Magnetinės indukcijos vektoriaus, kaip ir magnetinių linijų, kryptis nustatoma pagal jau minėtą sraigto arba dešinės rankos taisyklę. 2.2.8 paveiksle pavaizduota, kaip, remiantis šia taisykle, galima sužinoti magnetinės indukcijos vektoriaus $\vec{B}_0$ kryptį apskritos vijos, kuria teka elektros srovė, centre *O*. Visos tiesios srovės atkarpos (*1*, *2*, *3* ir *4*) taške *O* sukuria magnetinį lauką, kurio indukcija $\vec{B}_0$ nukreipta nuo mūsų[1].

Žemės magnetinį lauką apibūdina jos magnetinės indukcijos vektorius. Šio vektoriaus kryptį daugeliui teko ne kartą nustatyti praktiškai, pavyzdžiui, turistinio žygio metu arba per orientacininkų varžybas naudojantis kompasu. Jo rodyklės šiaurės polius rodė būtent Žemės magnetinio lauko indukcijos vektoriaus kryptį arba Žemės magnetinių linijų kryptį.

Apie magnetinės indukcijos vektoriaus modulį kalbėsime kitoje temoje.

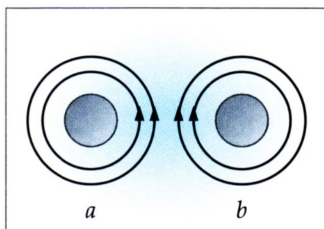


2.2.7 pav.

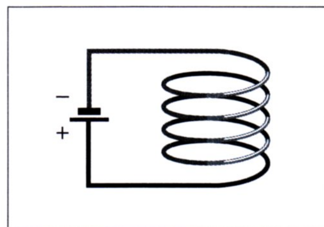


2.2.8 pav.

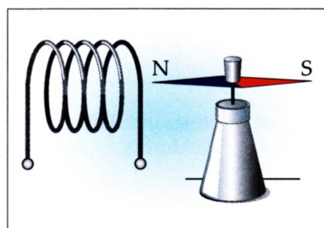
[1] Magnetinės indukcijos vektorius, nukreiptas nuo mūsų, žymimas ženklu ×, į mus – ženklu •.



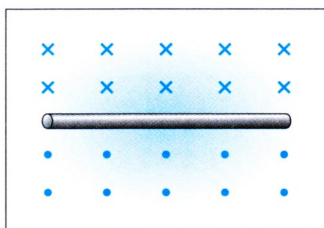
2.2.9 pav.



2.2.10 pav.

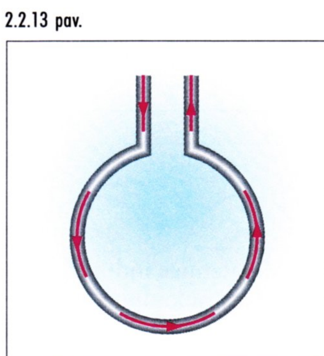


2.2.11 pav.



2.2.12 pav.

2.2.13 pav.



Klausimai ir užduotys

1. Ką vadiname magnetinio lauko jėgų linijomis?

2. Pateikite pavyzdžių, iliustruojančių, kaip būtų galima pastebėti magnetinio lauko jėgų linijas.

3. Išvardykite svarbiausias magnetinio lauko jėgų linijų savybes.

4. Ką vadiname magnetinės indukcijos vektoriumi? Kaip nustatoma jo kryptis?

5. Tiesiais laidininkais tekančios elektros srovės sukuria magnetinius laukus, kurių jėgų linijų kryptys pavaizduotos 2.2.9 paveiksle. Nustatykite kiekvienu laidininku tekančios elektros srovės kryptį.

6. Ritė, kuria teka elektros srovė, virsta magnetu. Remdamiesi 2.2.10 paveikslu, nustatykite, kuris ritės galas yra jos šiaurės polius, o kuris – pietų polius. Atsakymą pagrįskite.

7. 2.2.11 paveiksle pavaizduota ritės, kuria teka elektros srovė, ir magnetinės rodyklės sąveika. Nusipieškite šį paveikslą sąsiuvinyje ir pažymėkite jame:
a) ženklais + ir – prie ritės prijungto šaltinio polius;
b) srovės tekėjimo rite kryptį;
c) ritės sukurto magnetinio lauko jėgų linijų kryptį.

8. 2.2.12 paveiksle pavaizduotas laidininkas ir pažymėta juo tekančios elektros srovės sukurto magnetinio lauko linijų kryptis. Nusipieškite šį paveikslą sąsiuvinyje ir pažymėkite jame laidininku tekančios srovės kryptį. Atsakymą pagrįskite.

9. Apskrita laido vija laisvai kabo ant elektros srovę tiekiančių laidų (2.2.13 pav.). Srovės kryptis vijoje pažymėta rodykle. Kaip reaguos vija, jeigu prieš ją padėsime strypinį magnetą:
a) atsuktą į viją pietų poliumi;
b) atsuktą į viją šiaurės poliumi;
c) nukreiptą lygiagrečiai su vijos plokštuma, be to, šiaurės poliumi į dešinę?

10. Emilija iš tiesaus laido pasigamino spiralę. Paskui vieną jos galą pritvirtino prie stovo. Spiralę prijungusi prie elektros srovės šaltinio, mergaitė pastebėjo, kad ši susispaudė. Paaiškinkite reiškinį.

2.3. Ampero jėga

Magnetinės indukcijos modulis

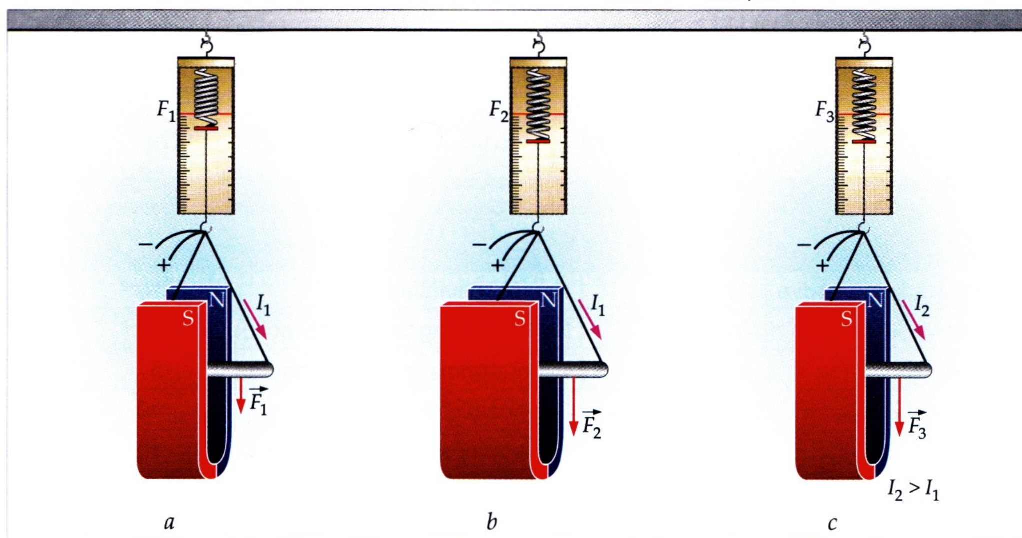
Gvildendami 2.2 temą, susipažinote su kiekybine magnetinio lauko charakteristika – magnetinės indukcijos vektoriumi, sužinojote, kaip nustatyti jo kryptį. Tačiau liko neaptarta šio vektoriaus skaitinė vertė – modulis. Kaip jį galima išreikšti? Nuo ko jis priklauso? Norėdami atsakyti į šiuos klausimus, išnagrinėkime tokį bandymą. Sakykime, laidininkas, kuriuo teka elektros srovė, pritvirtinamas prie jautraus dinamometro ir dalis jo patalpinama tarp magneto polių (2.3.1 pav., *a*). Iš IX klasės kurso žinome, kad laidininką, kuriuo teka elektros srovė, magnetinis laukas pradeda veikti tam tikra jėga. Pagal dinamometro rodmenis galime nustatyti, nuo ko priklauso jos didumas.

- Keičiant tarp magneto polių esančios laidininko dalies ilgį, pastebėta, kad tos jėgos modulis yra tiesiogiai proporcingas laidininko dalies ilgiui ($F \sim \Delta l$; 2.3.1 pav., *b*).
- Keičiant laidininku tekančios elektros srovės stiprį, nustatyta, kad laidininką veikiančios jėgos modulis yra tiesiogiai proporcingas srovės stipriui ($F \sim I$; 2.3.1 pav., *c*).

Pagrindinės sąvokos

Magnètinės indùkcijos mòdulis,
Ampèro jėgà.

2.3.1 pav.



Apibendrinus abi šias priklausomybes, matyti, kad jėga, kuria magnetinis laukas veikia laidininką, yra tiesiogiai proporcinga jo ilgiui ir srovės stipriui:

$$F \sim I\Delta l.$$

Šią proporciją galime pakeisti lygybe, parašydami proporcingumo koeficientą. Jį pažymėję B, gauname:

$$F = BI\Delta l. \qquad (2.1)$$

Kokia yra proporcingumo koeficiento B prasmė? Jėga, veikianti laidininką, turi priklausyti nuo paties magnetinio lauko, todėl koeficientas B turi būti fizikinis dydis, apibūdinantis magnetinį lauką. Taigi jis yra magnetinės indukcijos vektoriaus modulis. Iš 2.1 lygybės išplaukia, kad

$$B = \frac{F}{I\Delta l}. \qquad (2.2)$$

Magnètinės indùkcijos mòduliu vadinamas didžiausios jėgos, kuria vienalytis magnetinis laukas veikia jame esančią laidininko dalį, ir tuo laidininku tekančios srovės stiprio bei laidininko dalies ilgio sandaugos santykis. Vadinasi, išmatavę jėgą, kuria vienalytis magnetinis laukas veikia laidininko dalį, galėsime sužinoti ir magnetinės indukcijos modulį bei kryptį.

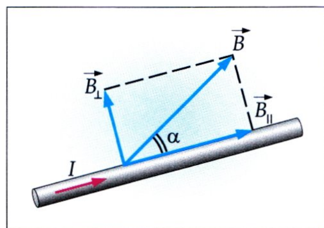
Magnetinės indukcijos matavimo vienetas vadinamas *teslà*, pagerbiant serbų mokslininką Nikolą Teslą (*Nikola Tesla*, 1856–1943). Sutrumpintai šis vienetas žymimas raide T: $[B]$ = 1 T. 1 T lygi magnetinei indukcijai tokio vienalyčio lauko, kuris veikia jame esančią 1 m ilgio laidininko dalį, kai ja teka 1 A srovė, didžiausia 1 N jėga.

Lentelėje pateikiame keletą skirtingų šaltinių sukurto magnetinio lauko indukcijos verčių:

Magnetinio lauko šaltinis	Magnetinio lauko indukcijos vertė, T	Magnetinio lauko šaltinis	Magnetinio lauko indukcijos vertė, T
Tarpžvaigždinė erdvė	10^{-19}	Saulės paviršius	10^{-2}
Žmogaus kūnas	$3 \cdot 10^{-10}$	Strypinis magnetas (arti polių)	10^{-2}
Saulės šviesa	$3 \cdot 10^{-6}$	Laboratorinis elektromagnetas	5
Televizorius (50 Hz)	10^{-4}	Superlaidininkas	40
Jupiteris	$8 \cdot 10^{-4}$	Neutroninės žvaigždės paviršius	10^{8}
Plaukų džiovintuvas (50 Hz)	10^{-3}	Atomo branduolys	10^{12}

Ampero jėgos modulis ir kryptis

Jėga, kuria magnetinis laukas veikia jame esančią laidininko dalį, vadinama *Ampèro jėgà*. Pagal 2.1 formulę ji lygi magnetinės indukcijos modulio, srovės stiprio ir laidininko dalies ilgio sandaugai. Tačiau bandymais nustatyta, kad ši formulė teisinga tik tada, kai laidininkas statmenas magnetinio lauko jėgų linijoms. Tada Ampero jėgos modulis yra didžiausias. Jeigu laidininkas nėra statmenas magnetinėms linijoms, Ampero jėgos modulis dar priklauso nuo kampo α tarp vektoriaus $\vec{B}$ ir laidininko, kuriuo teka elektros srovė (2.3.2 pav.). Kadangi $B_{\perp} = B \sin \alpha$, tai, įrašę šią išraišką į 2.1 formulę, gauname:

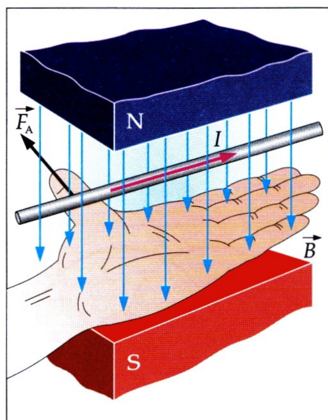


2.3.2 pav.

$$F_A = BI\Delta l \sin \alpha; \qquad (2.3)$$

čia F_A – Ampero jėgos modulis. Taigi ***Ampero jėga lygi magnetinės indukcijos, srovės stiprio, laidininko dalies ilgio ir kampo tarp magnetinės indukcijos vektoriaus bei laidininko dalies sinuso sandaugai.***

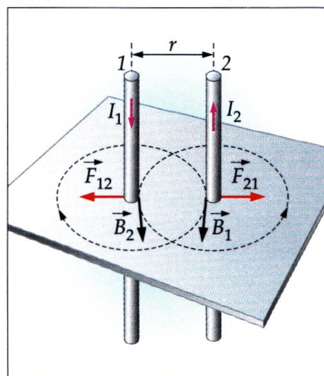
Magnetiniame lauke esantį laidininką, kuriuo teka srovė, veikiančios jėgos kryptį mokėtės nustatyti dar IX klasėje, tačiau tada šios jėgos nevadinote Ampero jėga. Prisiminkime, kaip nustatoma Ampero jėgos kryptis. ***Jei kairė ranka laikoma taip, kad magnetinės indukcijos linijos eina statmenai į jos delną, o keturi ištiesti pirštai rodo elektros srovės kryptį, tai delno plokštumoje 90° kampu ištiestas nykštys rodo laidininko dalį veikiančios jėgos kryptį*** (2.3.3 pav.).



2.3.3 pav.

Elektros srovių sąveikos aiškinimas

Remiantis žiniomis apie Ampero jėgą, nesunku paaiškinti elektros srovių, tekančių laidais, sąveiką (2.1.1 pav., *b* ir *c*). Lygiagretūs laidai, kuriais teka elektros srovė, vienas kitą traukia arba stumia, nes kiekvienas laidas yra gretimo laido srovės magnetiniame lauke (2.3.4 pav.). Pirmuoju laidu tekanti srovė I_1 sukuria magnetinį lauką, kurio magnetinės indukcijos vektorius $\vec{B}_1$ yra horizontalioje plokštumoje. Šis laukas veikia antrąjį laidą, kuriuo teka srovė I_2. Antrojo laido atkarpą Δl veikianti Ampero jėga lygi

2.3.4 pav.


$$F_{21} = I_2 \Delta l B_1 \sin 90° = I_2 \Delta l B_1. \qquad (2.4)$$

Jėgos $\vec{F}_{21}$ kryptis (2.3.4 pav.) nustatoma pagal kairės rankos taisyklę.

Antruoju laidu tekanti elektros srovė I_2 sukuria magnetinį lauką (jo indukcija $\vec{B}_2$), kuris veikia pirmąjį laidą. Šio laido atkarpą Δl veikianti Ampero jėga lygi

$$F_{12} = I_1 \Delta l B_2 \sin 90° = I_1 \Delta l B_2. \qquad (2.5)$$

Jėgos $\vec{F}_{12}$ kryptis (2.3.4 pav.) taip pat nustatoma pagal kairės rankos taisyklę. Ji yra priešinga jėgos $\vec{F}_{21}$ krypčiai. Vadinasi, laidai, kuriais srovė teka priešingomis kryptimis, vienas kitą stumia. Panašiai įrodoma, kad, srovei tekant ta pačia kryptimi, laidai vienas kitą traukia.

Iš elektros srovių sąveikos išplaukia srovės stiprio matavimo vieneto – ampero – apibrėžimas. ***Ampèras (A) – tai tokio stiprio nuolatinė elektros srovė, kuri, tekėdama dviem tiesiais, lygiagrečiais, be galo ilgais laidais, nutolusiais vakuume vienas nuo kito 1 m atstumu, sukelia tarp jų 2 · 10⁻⁷ N jėgą***[1].

[1] Bandymais nustatyta, kad laidų sąveikos jėga išreiškiama formule $F = k\frac{I_1 I_2}{r}\Delta l$; čia k – proporcingumo koeficientas; $k = 2 \cdot 10^{-7}$ N/A².

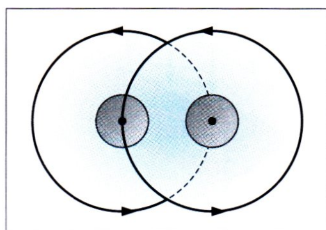
Klausimai ir užduotys

1. Kaip bandymais galima nustatyti magnetinės indukcijos vektoriaus modulį?

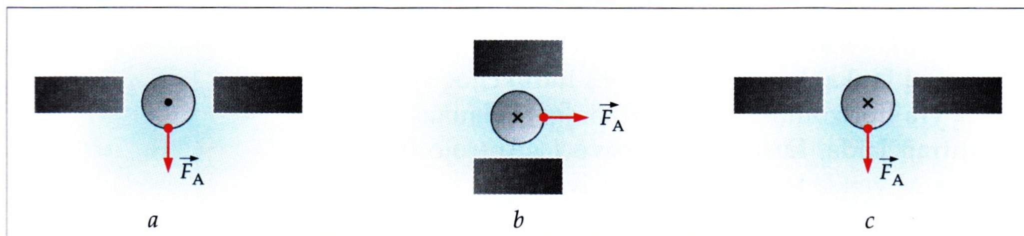
2. Nurodykite magnetinės indukcijos matavimo vienetą.

3. Ką vadiname Ampero jėga? Nuo ko ji priklauso?

4. 2.3.5 paveiksle pavaizduoti du laidai, kuriais srovės teka ta pačia kryptimi, ir nubrėžtos tų srovių sukurtų magnetinių laukų indukcijos linijos. Persibraižykite brėžinį savo sąsiuvinyje. Pažymėkite jame magnetinės indukcijos vektorius $\vec{B}_1$ ir $\vec{B}_2$. Pavaizduokite laidus veikiančias Ampero jėgas $\vec{F}_1$ ir $\vec{F}_2$. Įvertinkite laidų sąveikos pobūdį.


2.3.5 pav.

2.3.6 pav.

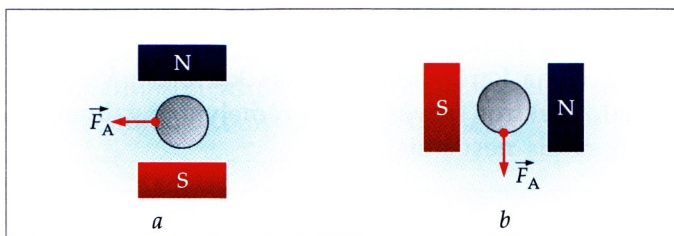


5. Tarp magneto polių esančiu laidininku (2.3.6 pav.) teka elektros srovė. Brėžinyje nurodyta jos ir Ampero jėgos kryptis. Atsižvelgdami į šiuos duomenis, nustatykite, kuris magneto polius yra šiaurės, o kuris – pietų.

6. Tarp magneto polių yra laidininkas (2.3.7 pav.), kuriuo teka elektros srovė. Rodyklė žymi Ampero jėgos kryptį. Nustatykite elektros srovės kryptį laidininke.

7. Dalis laidininko, kuriuo teka 20 A stiprio srovė, yra vienalyčiame magnetiniame lauke statmena jo indukcijos linijoms. Laidininko dalies ilgis 4 cm. Magnetinis laukas veikia ją 40 mN jėga. Apskaičiuokite magnetinio lauko indukciją. (0,5 T)

8. Kokia jėga 20 mT indukcijos magnetinis laukas veikia laidininką, kuriuo teka 25 A stiprio elektros srovė? Laidininko aktyviosios dalies ilgis 0,15 m. Lauko indukcijos linijos statmenos srovės krypčiai. (75 mN)



2.3.7 pav.

2.4. Nuolatinės elektros srovės variklis. Elektros matavimo prietaisai

Ampero jėga taikoma daugelyje prietaisų: elektros varikliuose, elektros matavimo prietaisuose. Norint geriau suprasti jų veikimą, pirmiausia reikia išsiaiškinti, kaip magnetinis laukas veikia jame esantį rėmelį, kuriuo teka elektros srovė. Ištirti rėmelio judėjimą magnetiniame lauke nėra sudėtinga. Tereikia turėti nuolatinį magnetą, rėmelį ir elektros srovės šaltinį (2.4.1 pav.)

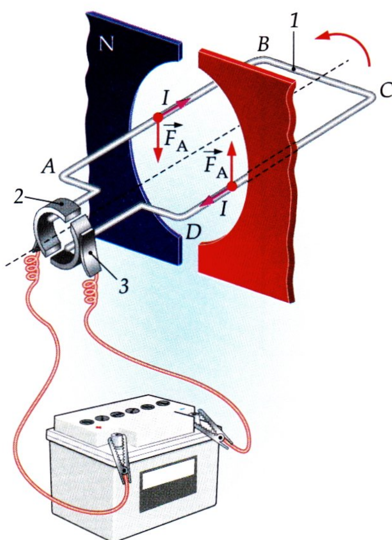
Pagrindinės sąvokos

Elèktros varìklis,
iñkaras,
stãtorius,
kolèktorius.

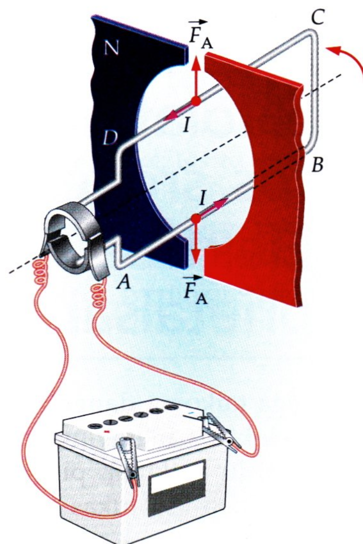
Rėmelis magnetiniame lauke

Rėmelis *1* įtaisomas tarp magneto polių (2.4.1 pav., *a*), o jo galai prijungiami prie dviejų pusžiedžių *2*, liečiančių šepetėlius *3*. Šie sujungiami su srovės šaltinio poliais. Rėmeliu ima tekėti elektros srovė. Pagal kairės rankos taisyklę nustatome, kad rėmelio kraštinę *AB* veikianti jėga yra nukreipta žemyn, o kraštinę *CD* – aukštyn. Dėl to rėmelis pasisuka. Kai jo plokštuma pasidaro statmena magnetinės indukcijos vektoriui (2.4.1 pav., *b*), jėgos, veikiančios rėmelio kraštines, nebesukelia sukimosi. Todėl rėmelis šioje padėtyje turėtų sustoti. Tačiau jis iš inercijos pereina šią padėtį. Tada elektros srovės kryptis rėmelyje pasikeičia, nes pusžiedis *A* pasiekia šepetėlį, sujungtą su neigiamuoju šaltinio poliumi. Pusžiedis *B* atsiduria prie šepetėlio, sujungto su teigiamuoju šaltinio poliumi. Vėl pritaikę kairės rankos taisyklę, nustatome, kad laidininkus *AB* ir *CD* veikiančių jėgų dvejetas toliau suka rėmelį ta pačia kryptimi. Dėl to jis apsisuka vieną kartą. Toliau viskas kartojasi. Vadinasi, keičiant elektros srovės kryptį rėmelyje, jį galima priversti suktis nesustojant.

2.4.1 pav.



a



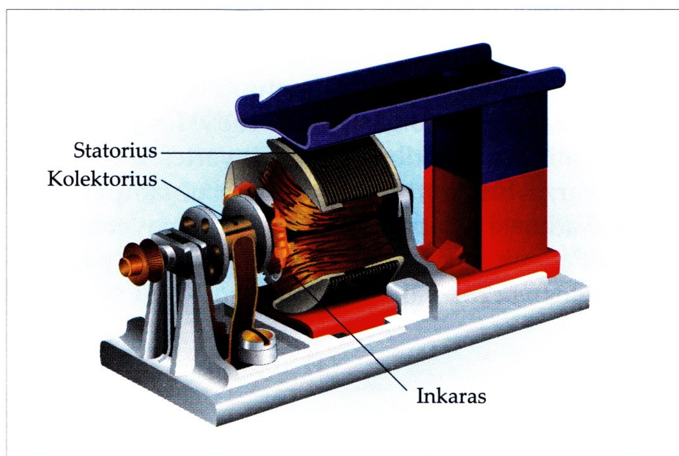
b

Nuolatinės elektros srovės variklio sandara ir veikimas

Elèktros varikliù vadiname įrenginį, kuris elektros energiją paverčia mechanine energija. Jo veikimas pagrįstas rėmelio, kuriuo teka elektros srovė, sukimusi magnetiniame lauke. Skirtumas čia tik tas, kad tikras elektros variklis turi ne vieną, o daug rėmelių ir jie užvynioti ant geležinės šerdies, suklijuotos iš atskirų plokštelių (2.4.2 pav.). Ši variklio dalis *1* vadinama ***iñkaru***. Kadangi inkarą sudaro daug rėmelių, jis sukasi tolygiai. Inkaro rėmelių galai pritvirtinami prie ***kolèktoriaus*** *2* (lot. *colector* – rinkėjas), atliekančio pusžiedžių funkciją.

Nejudanti variklio dalis – ritinio formos korpusas *3*, vadinamas ***stãtoriumi***. Jame išdėstomos apvijos, kuriomis tekėdama nuolatinė elektros srovė sukuria magnetinį lauką. Statoriaus magnetinis laukas veikia inkaro rėmelius, kai jais teka elektros srovė. Dėl to inkaras pradeda suktis.

Nuolatinės elektros srovės varikliai plačiai naudojami technikoje, buityje ir transporte.

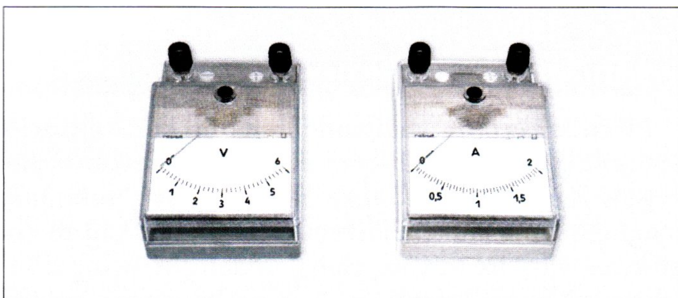


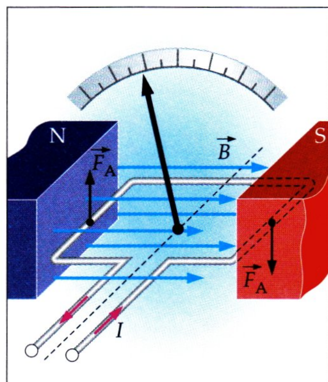
2.4.2 pav.

Elektros matavimo prietaisai

Pagrindiniai elektros matavimo prietaisai yra ampermetras ir voltmetras (2.4.3 pav.). Primename, kad ampermetru matuojamas elektros srovės stipris, o voltmetru – įtampa. Jų veikimas pagrįstas magnetiniu elektros srovės veikimu. Dėl to šie prietaisai vadinami magnetoelektriniais matavimo prietaisais.

2.4.3 pav.



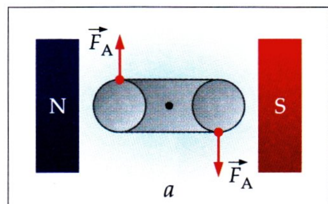


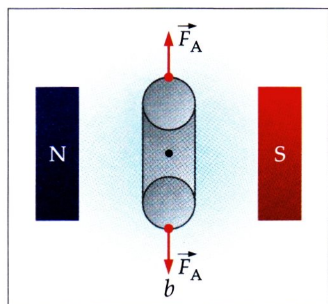
2.4.4 pav.

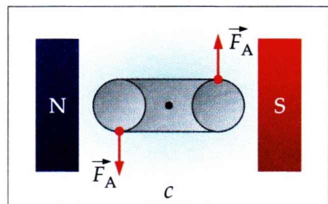
Paprasčiausio magnetoelektrinio prietaiso sandara nesudėtinga. Jį sudaro nejudamas magnetas ir tarp jo polių ant ašies įtaisytas stačiakampis rėmelis (2.4.4 pav.). Prie jo pritvirtinta rodyklė. Įjungus prietaisą į elektrinę grandinę, rėmeliu pradeda tekėti elektros srovė ir jo kraštines ima veikti Ampero jėga $\vec{F}_A$. Dėl to rėmelis pasisuka. Kartu su juo nukrypsta ir rodyklė. Rėmelio, taigi ir rodyklės, posūkio kampas yra proporcingas elektros srovės stipriui. Atitinkamai sugradavus prietaiso skalę, pagal rėmelio posūkio kampą galima nustatyti srovės stiprio vertę. Tereikia žinoti, kokius rodyklės nuokrypio kampus atitinka žinomos srovės stiprio vertės. Šios rūšies prietaisai yra tikslūs ir jautrūs, tačiau tinka tik nuolatinės elektros srovės grandinėms.

Tokiu pat prietaisu galima matuoti ir įtampą. Tik jo skalę reikia sugraduoti taip, kad rodyklės nuokrypio kampas atitiktų tam tikras įtampos vertes. Be to, voltmetro varža turi būti daug didesnė už ampermetro varžą. Vadinasi, ampermetrą nesunku paversti voltmetru. Pakanka prie jo nuosekliai prijungti papildomą didelės varžos varžą.

2.4.5 pav.







Klausimai ir užduotys

1. Paaiškinkite, kaip veikia nuolatinės elektros srovės variklis.

2. Apibūdinkite magnetoelektrinių matavimo prietaisų sandarą ir veikimą.

3. 2.4.5 paveiksle pavaizduoti rėmelių, esančių magnetiniame lauke, pjūviai ir tų rėmelių kraštines veikiančios jėgos. Persibraižykite brėžinius savo sąsiuvinyje ir pažymėkite, kuria kryptimi kiekvienu rėmeliu teka elektros srovė.

2.5. Lorenco jėga

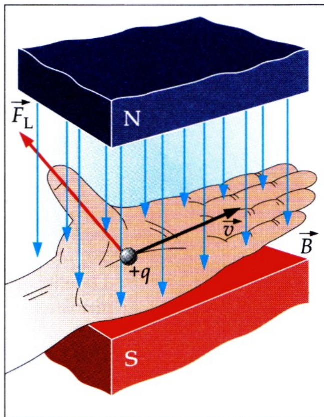
Lorenco jėgos samprata

Pagrindinės sąvokos

Lòrenco jėgà, ciklotrònas, radiãcinės júostos.

Žinome, kad magnetinis laukas veikia laidininką, kuriuo teka elektros srovė. Tačiau elektros srovė yra kryptingai judančių elektringųjų dalelių visuma. Todėl magnetinio lauko poveikis šiam laidininkui yra jo poveikio laidininko viduje judančioms elektringosioms dalelėms rezultatas.

Jėga, kuria magnetinis laukas veikia judančią elektringąją dalelę, vadinama Lòrenco jėgà. Taip ji pavadinta olandų fiziko, elektroninės medžiagos sandaros kūrėjo Hendriko Antono Lorenco (*Hendrik Anton Lorentz*, 1853–1928) garbei. Apie šią jėgą šiek tiek sužinojote per fizikos pamokas X klasėje, tačiau jos nevadinote Lorenco jėga. Jau tada mokėtės nustatyti jėgos, kuria magnetinis laukas veikia judančią elektringąją dalelę, kryptį – taikėte kairės rankos taisyklę. Apibrėžkime ją dar kartą, pasitelkdami magnetinės indukcijos sąvoką: ***jei kairė ranka laikoma taip, kad magnetinės indukcijos linijos eina statmenai į jos delną, o keturi ištiesti pirštai rodo teigiamosios elektringosios dalelės judėjimo kryptį, tai delno plokštumoje 90° kampu ištiestas nykštys rodo dalelę veikiančios Lorenco jėgos kryptį*** (2.5.1 pav.). Neigiamąją dalelę Lorenco jėga veiks priešinga kryptimi.



2.5.1 pav.

Lorenco jėgos modulis F_L apskaičiuojamas dalijant Ampero jėgos modulį F_A iš nagrinėjamojoje laidininko dalyje kryptingai judančių dalelių skaičiaus N:

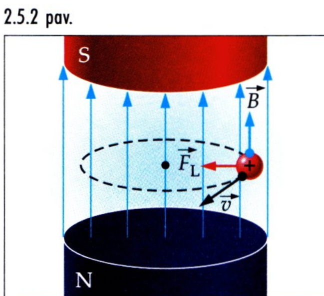
$$F_L = \frac{F_A}{N}. \qquad (2.6)$$

Iš šios formulės išplaukia tokia Lorenco jėgos modulio išraiška:

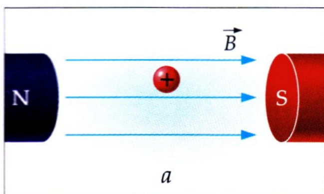
$$F_L = |q|vB \sin\alpha; \qquad (2.7)$$

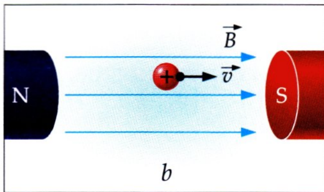
čia $|q|$ – elektringosios dalelės krūvio modulis, v – tos dalelės greitis, B – magnetinės indukcijos modulis, α – kampas tarp dalelės greičio ir magnetinės indukcijos vektorių.

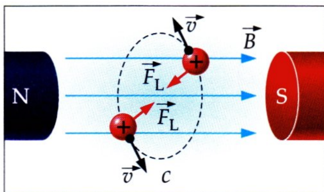
2.5.2 pav.



Kadangi Lorenco jėga yra statmena dalelės greičiui (2.5.2 pav.), tai darbo ji neatlieka. Vadinasi, ši jėga

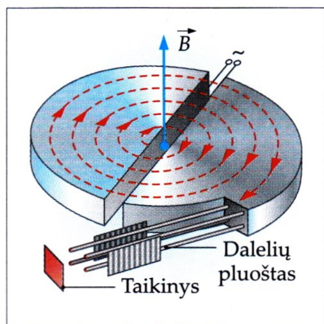




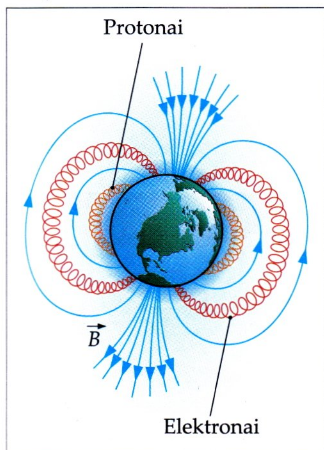


2.5.3 pav.

2.5.4 pav.



2.5.5 pav.



nekeičia dalelės energijos, o kartu ir jos greičio modulio. Dėl Lorenco jėgos poveikio kinta tik dalelės greičio kryptis.

Iš Lorenco jėgos formulės (2.7) išeina, kad nejudančios elektringosios dalelės ($v = 0$) magnetinis laukas neveikia (2.5.3 pav., *a*). Kai dalelė juda išilgai magnetinio lauko jėgų linijų (2.5.3 pav., *b*), Lorenco jėga taip pat lygi nuliui (nes $\sin 0° = 0$). Vadinasi, ir šiuo atveju magnetinis laukas dalelės neveikia. Kai dalelė juda statmenai magnetinės indukcijos linijoms (t. y. kai $\sin 90° = 1$; 2.5.3 pav., *c*), Lorenco jėgos skaitinė vertė yra didžiausia.

Lorenco jėga technikoje

Magnetinio lauko poveikis elektros krūvininkui taikomas elektroniniuose mikroskopuose, elektroniniuose vamzdžiuose, elektringųjų dalelių greitintuvuose, mãsės spektrogrãfuose ir daugelyje kitų šiuolaikinių prietaisų.

Plačiau aptarkime, kaip veikia elektringųjų dalelių greitintuvas – ***ciklotrònas***. Žinių apie jį prireiks, kai nagrinėsime branduolines reakcijas. Ciklotrone elektringosios dalelės įgyja daug energijos, kuri gali sukelti branduolines reakcijas. Ciklotroną sudaro dvi dalys – indai, panašūs į perpjautą pusiau dėžutę (2.5.4 pav.). Šie indai padedami stipriame magnetiniame lauke. Jo veikiamos elektringosios dalelės juda spiraline trajektorija. Didėjant dalelių greičiui, didėja trajektorijos spindulys. Įgijusios reikiamą greitį, o kartu ir pakankamai energijos, dalelės nukreipiamos į pasirinktą objektą (taikinį).

Lorenco jėga gamtoje

Saulė, kosminiai ūkai, sprogstančios žvaigždės (supernovos) spinduliuoja elektringąsias daleles. Žemės paviršių nuo jų poveikio saugo magnetinis laukas. Įlėkusios į jį, dalelės ima judėti spiralėmis apie Žemės magnetinio lauko jėgų linijas, dėl to susikaupia tam tikrose srityse. Žemės atmosferos sritys, kuriose didelė elektringųjų dalelių koncentracija, vadinamos ***radiãcinėmis júostomis*** (2.5.5 pav.). Jau pirmųjų kosminių skrydžių metu buvo pastebėta, kad Žemės rutulį

gaubia dvi radiacinės juostos. Vidinė juosta prasideda maždaug 2400 km aukštyje ir baigiasi 6000 km aukštyje virš Žemės paviršiaus, o išorinė prasideda 12 000 km aukštyje ir baigiasi maždaug 20 000 km aukštyje.

Išorinėje juostoje didžiausią elektringųjų dalelių dalį sudaro elektronai. Protonus, kurių masė net 1836 kartus didesnė negu elektronų, pajėgia sulaikyti tik stipresnis magnetinis laukas vidinėje juostoje. Paminėjome radiacinių juostų privalumą – jos saugo Žemės paviršių nuo elektringųjų dalelių poveikio. Tačiau šios juostos turi ir neigiamų padarinių – trukdo kosminiams skrydžiams.

Klausimai ir užduotys

1. Kokią jėgą vadiname Lorenco jėga? Kaip apskaičiuojamas jos modulis?

2. Kaip nustatoma Lorenco jėgos kryptis?

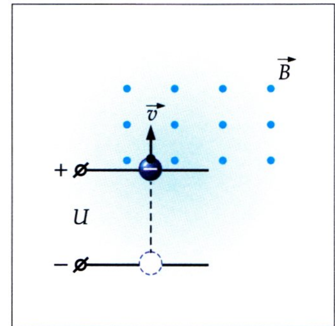
3. Kodėl Lorenco jėga nekeičia elektringosios dalelės greičio modulio, bet keičia jo kryptį?

4. Į magnetinį lauką statmenai jo indukcijos linijoms įlėkė elektronas (2.5.6 pav.). Kokia trajektorija jis judės? Atsakymą pagrįskite.

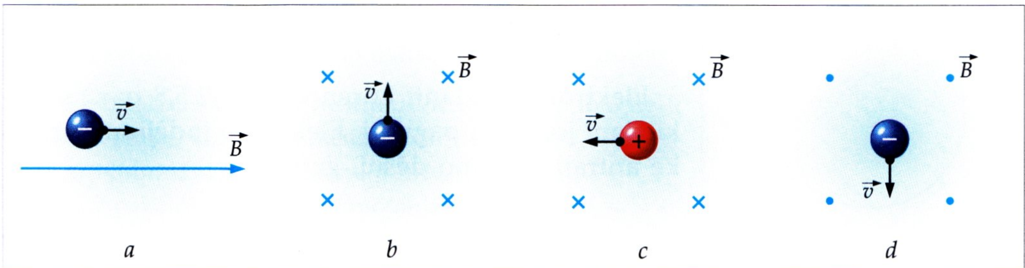
5. 2.5.7 paveiksle pavaizduota keletas elektringosios dalelės judėjimo magnetiniame lauke pavyzdžių. Kiekvienu atveju nustatykite dalelę veikiančios Lorenco jėgos kryptį.

6. Protonas juda magnetiniame lauke statmenai jo indukcijos linijoms 10 Mm/s greičiu. Magnetinės indukcijos vektoriaus modulis 0,4 T. Apskaičiuokite protoną veikiančią Lorenco jėgą. (6,4 · 10^{-13} N)

2.5.6 pav.



2.5.7 pav.



Mokomės spręsti uždavinius

1. Magnetiniame lauke esantį laidininką, kuriuo teka 8 A elektros srovė, veikia 0,2 N jėga. Laidininko ilgis 20 cm, kampas tarp magnetinės indukcijos vektoriaus ir laidininko 30°. Apskaičiuokime magnetinės indukcijos vektoriaus modulį.

B – ?	$I = 8$ A
	$F = 0{,}2$ N
	$\Delta l = 0{,}2$ m
	$\alpha = 30°$

Sprendimas

Magnetiniame lauke esantį laidininką, kuriuo teka elektros srovė, veikia Ampero jėga. Ji lygi

$$F_A = IB\Delta l \sin\alpha.$$

Iš čia magnetinės indukcijos vektoriaus modulis

$$B = \frac{F_A}{I\Delta l \sin\alpha}.$$

Įrašę dydžių vertes, gauname:

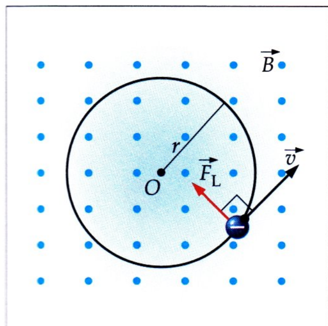
$$B = \frac{0{,}2\ \text{N}}{8\ \text{A} \cdot 0{,}2\ \text{m} \cdot 0{,}5} = 0{,}25\ \text{T}.$$

Atsakymas: 0,25 T.

2. Elektronas įlekia į vienalytį magnetinį lauką statmenai jo indukcijos linijoms 16 000 km/s greičiu. Šiame lauke jis juda apskritimu, kurio spindulio ilgis 2 cm. Apskaičiuokime magnetinės indukcijos modulį.

B – ?	$\alpha = 90°$
	$v = 1{,}6 \cdot 10^7$ m/s
	$r = 2 \cdot 10^{-2}$ m
	$m_e = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ kg
	$e = -1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C

2.5.8 pav.



Sprendimas

Elektroną veikianti Lorenco jėga (2.5.8 pav.) suteikia jam įcentrinį pagreitį. Elektrono judėjimui pritaikę antrąjį Niutono dėsnį, gauname:

$$F_L = m_e a_{įc} = \frac{m_e v^2}{r}. \quad (1)$$

Antra vertus,

$$F_L = |e|vB \sin \alpha. \quad (2)$$

Iš 1 ir 2 lygties išplaukia, kad

$$\frac{m_e v^2}{r} = evB \sin \alpha. \quad (3)$$

Iš čia magnetinės indukcijos vektoriaus modulis

$$B = \frac{m_e v}{|e| r \sin \alpha}.$$

Įrašę dydžių vertes, gauname:

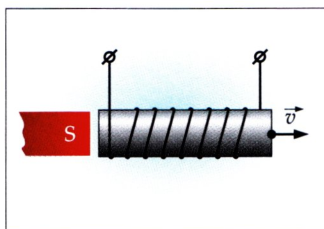
$$B = \frac{9{,}1 \cdot 10^{-31}\ \text{kg} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{7}\ \text{m/s}}{1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \text{C} \cdot 2 \cdot 10^{-2}\ \text{m}};$$

$$B = 4{,}55 \cdot 10^{-3}\ \text{T} = 4{,}55\ \text{mT}.$$

Atsakymas: 4,55 mT.

Užduotys savarankiškam darbui

1. 2.5.9 paveiksle pavaizduota magneto ir jo stumiamos ritės padėtis. Nustatykite elektros srovės kryptį ritėje.

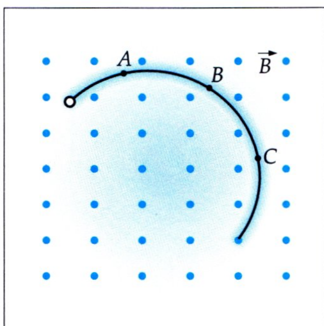


2.5.9 pav.

2. 2.5.10 paveiksle pavaizduota vienalyčiame magnetiniame lauke judančios elektringosios dalelės trajektorija.

a) Nustatykite dalelės krūvio ženklą.

b) Persibraižykite brėžinį sąsiuvinyje ir pažymėkite Lorenco jėgos kryptį taškuose *A*, *B* ir *C*.

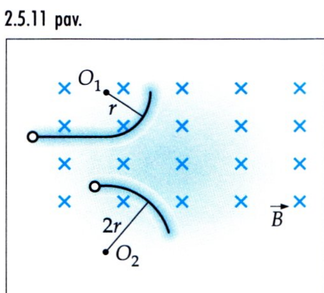


2.5.10 pav.

3. 2.5.11 paveiksle pavaizduotos vienalyčiame magnetiniame lauke judančių elektringųjų dalelių trajektorijos. Dalelių masė ir greitis vienodas.

a) Nustatykite dalelių krūvio ženklą.

b) Palyginkite jų krūvio modulius.



2.5.11 pav.

4. Dalis laidininko, kuriuo teka 20 A elektros srovė, yra magnetiniame lauke. Su magnetinės indukcijos linijomis ji sudaro 30° kampą. Laidininko dalį veikia 3,6 N jėga. Magnetinio lauko indukcijos modulis 1,2 T. Apskaičiuokite lauke esančios laidininko dalies ilgį. (0,3 m)

5. Elektronas skrieja apskritimu vienalyčiame magnetiniame lauke, kurio indukcija 4 mT.

a) Nubraižykite aiškinamąjį brėžinį.

b) Apskaičiuokite elektrono sukimosi periodą. (8,9 ns)

2.6. Medžiagų magnetinės savybės

Pagrindinės sąvokos

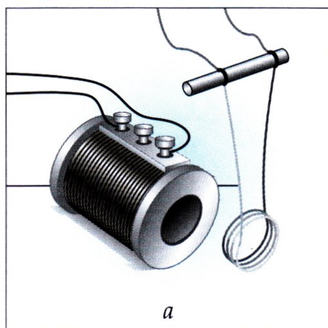
Magnètinė skvarbà, diamagnètikas, paramagnètikas, feromagnètikas, magnètinė sótis, nuolatìnis magnètas, Kiurì temperatūrà.

Sąveika magnetiniame lauke

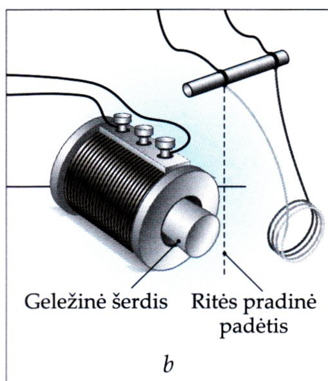
Nagrinėdami elektrostatiką, sužinojote, kad nejudančių krūvių sąveika priklauso nuo terpės, kurioje jie yra. Terpės (medžiagos) dielektrinė skvarba rodo, kiek kartų krūvių sąveika toje terpėje yra silpnesnė negu vakuume. Pavyzdžiui, glicerolio dielektrinė skvarba $\varepsilon = 39$. Todėl glicerolyje krūviai sąveikauja 39 kartus silpniau nei vakuume. Taigi įelektrintų kūnų sąveikos jėgos priklauso nuo terpės, kurioje jie yra, savybių.

Bandymais nustatyta, kad terpė turi įtakos ir srovių magnetinei sąveikai. Sakykime, greta didelės ritės ant dviejų plonų laidų kabo maža ritė. Kai abiem ritėmis teka elektros srovė, maža ritė atsitraukia nuo didžiosios (2.6.1 pav., *a*). Į pastarąją įkišus geležinę šerdį, maža ritė nutolsta dar labiau (2.6.1 pav., *b*). Taip yra dėl to, kad, pasikeitus terpei (į didelę ritę buvo įkišta geležinė šerdis), padidėja mažą ritę veikianti Ampero jėga.

2.6.1 pav.



a



b

Ampero hipotezė

Kodėl magnetinė sąveika priklauso nuo terpės, paaiškino prancūzų mokslininkas Andrė Mari Amperas. Jis iškėlė hipotèzę, kad terpėje (medžiagoje) cirkuliuoja mikroskopinės uždaros elektros srovės. Jos atsiranda dėl:

- elektronų sukimosi nekintamomis orbitomis apie branduolius;
- elektronų sukimosi apie savo ašį;
- branduolius sudarančių protonų ir neutronų sukimosi apie savo ašį.

Mikroskopinės srovės sukuria savąjį magnetinį lauką $\left(\vec{B}_s\right)$. Išorinis magnetinis laukas $\left(\vec{B}_0\right)$ terpėje sumuojasi su savuoju magnetiniu lauku:

$$\vec{B} = \vec{B}_s + \vec{B}_0. \qquad (2.8)$$

Magnetinė skvarba

Iš Ampero hipotezės (2.8) išplaukia, kad magnetinio lauko indukcija $\vec{B}$ terpėje skiriasi nuo to lauko indukcijos $\vec{B}_0$ vakuume. ***Fizikinis dydis, kuris rodo, kiek kartų magnetinio lauko indukcija $\left(\vec{B}\right)$ vienalytėje terpėje skiriasi nuo indukcijos $\left(\vec{B}_0\right)$ vakuume, vadinamas magnètine skvarbà:***

$$\mu = \frac{B}{B_0}. \qquad (2.9)$$

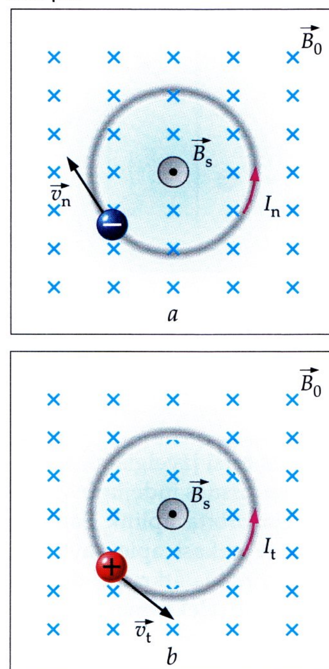
Magnetinė skvarba – medžiagos charakteristika, apibūdinanti jos magnetines savybes. Pagal magnetines savybes medžiagos skirstomos į diamagnetikus, paramagnetikus ir feromagnetikus.

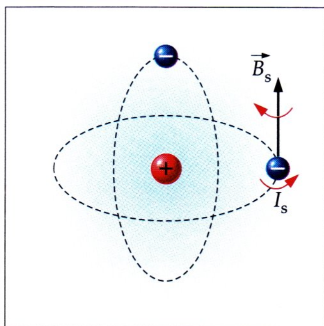
Diamagnetikai

Diamagnètikais vadinamos medžiagos, sukuriančios savąjį magnetinį lauką, kuris šiek tiek susilpnina išorinį magnetinį lauką. Diamagnetikų magnetinė skvarba truputį mažesnė už vienetą ($\mu \leq 1$), pavyzdžiui, aukso $\mu = 0{,}999961$. Vadinasi, diamagnetikų magnetinė skvarba skiriasi nuo vieneto ne daugiau kaip dešimttūkstantosiomis dalimis.

Kodėl diamagnetikai susilpnina išorinį magnetinį lauką, paaiškina Ampero hipotezė. Diamagnetikuose judančios elektringosios dalelės (elektronai, teigiamieji jonai) sukuria savąjį magnetinį lauką, kurio indukcijos vektoriaus kryptis yra priešinga išorinio magnetinio lauko indukcijos vektoriaus krypčiai $\left(\vec{B}_s \uparrow\downarrow \vec{B}_0\right)$. 2.6.2 paveiksle pavaizduota, kuria kryptimi juda elektronas (*a*) ir teigiamasis jonas (*b*) plazmoje, esančioje išoriniame magnetiniame lauke $\left(\vec{B}_0\right)$. Išorinio magnetinio lauko indukcijos vektorius nukreiptas nuo mūsų statmenai lapo plokštumai. Judantis elektronas ir teigiamasis jonas sukuria elektros srovę, o ši – savąjį magnetinį lauką $\left(\vec{B}_s\right)$. Pagal dešinės rankos taisyklę savojo magnetinio lauko indukcijos vektorius $\vec{B}_s$ yra nukreiptas į mus, taigi jo kryptis priešinga išorinio magnetinio lauko indukcijos vektoriaus $\vec{B}_0$ krypčiai.

2.6.2 pav.





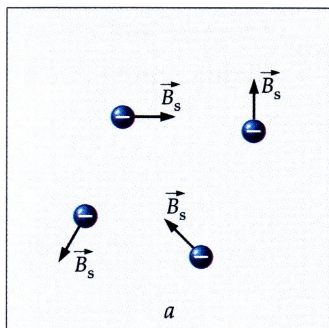
2.6.3 pav.

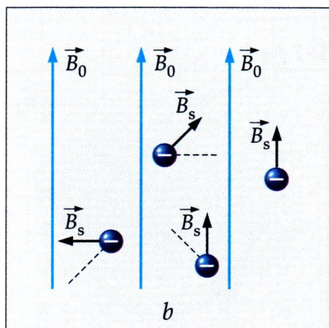
Diamagnetinės savybės būdingos ne tik plazmai. Gamtoje yra daug diamagnetikų: kvarcas, vanduo, stiklas, guma, medis, druska, metalai (auksas, sidabras, švinas, bismutas), dujos (vandenilis, helis).

Paramagnetikai

Paramagnètikais vadinamos medžiagos, sukuriančios savąjį magnetinį lauką, kuris šiek tiek sustiprina išorinį magnetinį lauką. Paramagnetikų magnetinė skvarba nedaug didesnė už vienetą ($\mu \geq 1$). Net labai stiprių paramagnetikų ji mažai skiriasi nuo vieneto, pavyzdžiui, platinos $\mu = 1,00036$.

Paramagnetikų savojo magnetinio lauko indukcijos vektoriaus kryptis sutampa su išorinio magnetinio lauko indukcijos vektoriaus kryptimi $\left(\vec{B}_s \uparrow\uparrow \vec{B}_0\right)$. Paramagnetikų savojo magnetinio lauko prigimtis yra sudėtingesnė. Šį lauką sukuria mikroskopinės srovės, kurios atsiranda dėl elektronų sukimosi apie savo ašį[1] (2.6.3 pav.). Kai išorinio magnetinio lauko nėra, mikroskopinių srovių sukurtų laukų vektoriai $\vec{B}_s$ orientuoti netvarkingai (2.6.4 pav., *a*). Todėl paramagnetikas savojo magnetinio lauko neturi ($B_s = 0$). Paramagnetikui atsidūrus išoriniame magnetiniame lauke, vektoriai $\vec{B}_s$ orientuojami išorinio magnetinio lauko kryptimi $\left(\vec{B}_s \uparrow\uparrow \vec{B}_0\right)$ (2.6.4 pav., *b*). Dėl to savojo magnetinio lauko indukcija nelygi nuliui ($B_s \neq 0$) ir šis laukas papildo išorinį magnetinį lauką.





2.6.4 pav.

Kaitinant paramagnetiką, savojo magnetinio lauko indukcijos vektorių tvarkingas išsidėstymas išnyksta. Dėl to savasis magnetinis laukas susilpnėja ir kartu sumažėja magnetinė skvarba μ.

Feromagnetikai

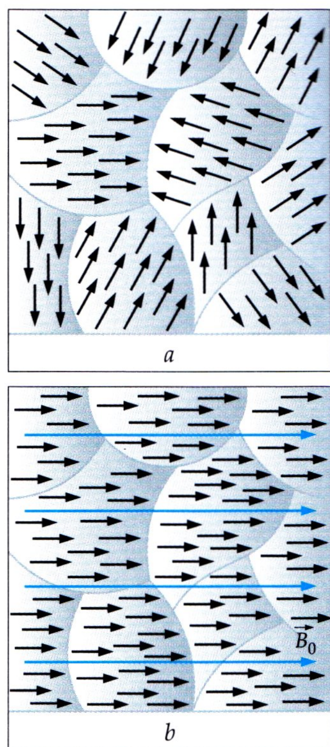
Feromagnètikais vadinamos medžiagos, sukuriančios savąjį magnetinį lauką, kuris labai sustiprina išorinį magnetinį lauką. Feromagnetikų magnetinė skvarba yra daug didesnė už vienetą ($\mu \gg 1$), pavyzdžiui, geležies $\mu = 10^4$.

Feromagnetikuose savasis magnetinis laukas atsiranda dėl elektronų sukimosi apie savo ašį. Šį lauką

[1] Čia tarsi įžvelgiame analogiją su Žemės judėjimu. Žemė skrieja orbita aplink Saulę ir drauge sukasi apie savo ašį. Tačiau reikia atkreipti dėmesį į tai, kad elektronas juda ne pagal klasikinės, o pagal kvantinės mechanikos dėsnius.

kuria ne tik valentiniai, bet ir vidinių sluoksnių elektronai. Atomams sąveikaujant, feromagnetike susidaro sritys, kuriose savojo magnetinio lauko indukcijos vektoriai yra orientuoti lygiagrečiai. Šios savaime įsimagnetinusios sritys vadinamos ***domènais*** (2.6.5 pav., *a*). Jų matmenys siekia 10^{-2}–10^{-4} cm. Atskiruose domenuose magnetiniai laukai yra orientuoti skirtingai, todėl visame feromagnetike jie kompensuoja vienas kitą. Feromagnetiko bandinį įnešus į išorinį magnetinį lauką, domenų magnetiniai laukai orientuojasi tvarkingai (2.6.5 pav., *b*).

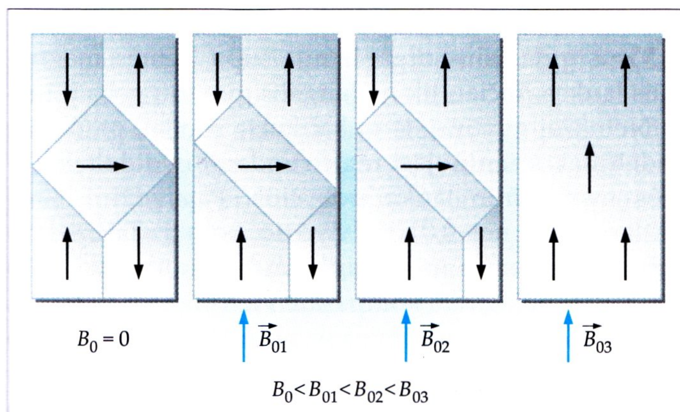
Išorinio magnetinio lauko indukcijai $\vec{B}_0$ didėjant, vis daugiau domenų laukų orientuojasi tvarkingai. Dėl to magnetinis laukas feromagnetiko bandinio viduje $(\vec{B})$ stiprėja (2.6.6 pav.). Kai visų domenų laukai orientuojasi tvarkingai, toliau stiprinant išorinį magnetinį lauką $(\vec{B}_0)$, magnetinis laukas $(\vec{B})$ feromagnetiko bandinyje nustoja stiprėti. Šis reiškinys vadinamas ***magnètine sótimi***.



2.6.5 pav.

Nuolatiniai magnetai

Feromagnetiko bandinį išnešus iš išorinio magnetinio lauko, daugelio domenų tvarkinga orientacija nepasikeičia – bandinys tampa ***nuolatiniù magnetù***. Nuolatiniai magnetai gaminami iš plieno, geležies ir aliuminio, nikelio ir kobalto junginių. Feromagnetikai naudojami kompiuterių atmintinių, magnetinių juostų, kreditinių kortelių gamybai (žr. 4.8 temą). Plieninės šerdys naudojamos elektros generatoriuose, elektros varikliuose ir transformatoriuose.



2.6.6 pav.

Kiuri temperatūra

Kylant aplinkos temperatūrai, atomų šiluminiai virpesiai stiprėja. Dėl to tvarkinga domenų orientacija suyra, o feromagnetiko bandinys išsimagnetina. Šį reiškinį pirmą kartą 1894 m. pastebėjo prancūzų mokslininkas Pjeras Kiuri (*Pierre Curie*). Jis nustatė, kad įkaitusi iki 768 °C geležis išsimagnetina. Todėl temperatūra, kuriai esant medžiaga praranda feromagnetines savybes, vadinama ***Kiurì temperatūrà***. Kobalto ji yra 1130 °C, nikelio – 356 °C.

Klausimai ir užduotys

1. Koks fizikinis dydis apibūdina terpės magnetines savybes?

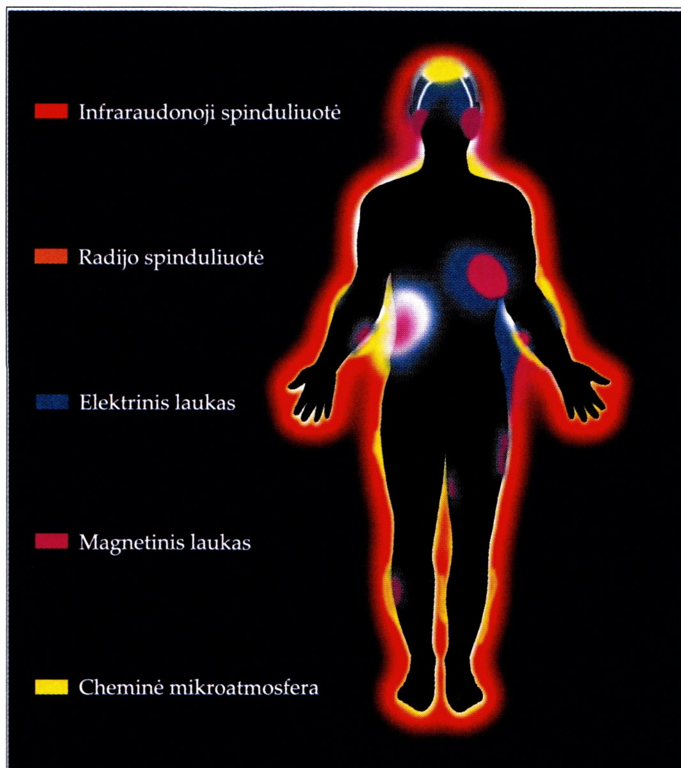
2. Kokia yra Ampero hipotezės esmė?

3. Ką vadiname feromagnetikais; paramagnetikais; diamagnetikais? Kur taikomos šios medžiagos?

4. Skutimosi peiliuką magnetas pritraukia. Tačiau pakaitintas liepsna peiliukas nuo magneto atitrūksta. Paaiškinkite šį reiškinį.

2.7. Laukų poveikis gyviesiems organizmams

Visus gyvuosius organizmus supa Žemės magnetinis laukas. Tačiau tik nedaugelis gyvūnų geba jį justi. Nemažai gyvūnų, iš jų kai kurie ropliai, paukščiai ir delfinai, orientuojasi registruodami nedidelius Žemės magnetinio lauko pokyčius. Pavyzdžiui, jūrų vėžliai junta net 0,01 μT dydžio pokytį. Tai sudaro apie 0,2 % Žemės magnetinio lauko indukcijos. Kaip veikia šie biologiniai kompasai? Viena iš teorijų teigia, kad kai kuriuose audiniuose aptinkamos magnetito molekulės veikia kaip mažytės kompasų rodyklėlės. Kita teorija tvirtina, jog gyvūnai jaučia magnetinio

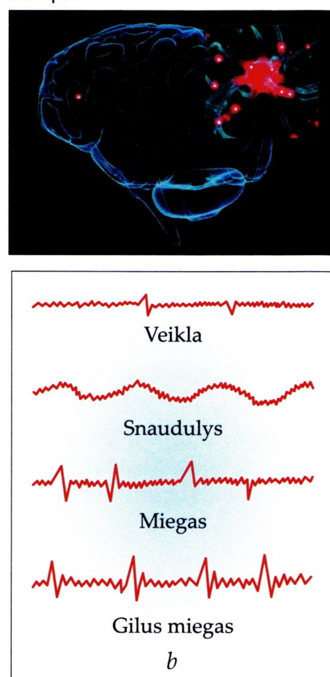


2.7.1 pav.

lauko poveikį biocheminėms reakcijoms. Biologai mano, kad paukščiai migruodami orientuojasi pagal Žemės magnetinį lauką. Kai kurių paukščių, delfinų ir bičių organizmuose rasta mažyčių magnetito kristalėlių, kuriuos nervų skaidulos jungia su smegenimis. Tai patvirtina prielaidą, kad navigacinius šių gyvūnų gebėjimus lemia Žemės magnetinis laukas. Kai kurių rūšių žuvys, gyvenančios tamsoje, turi elektrinius receptorius, kurie jaučia elektrinio lauko pokyčius.

Žmogaus kūnas yra elektrinių ir magnetinių laukų, taip pat infraraudonosios spinduliuotės šaltinis (2.7.1 pav.). Svarbiausi jo elektros centrai – smegenys ir širdis. Šių organų skleidžiami elektros impùlsai teikia daug informacijos apie jų veiklą. Impulsai registruojami specialiais prietaisais ir užrašomi. Taip gaunamos kardiogrãmos, encefalogrãmos. Žmogaus smegenys (2.7.2 pav., *a*) siunčia silpnesnius elektros impulsus negu širdis. Įdomu tai, kad šių impulsų forma ir dažnis keičiasi. 2.7.2 paveiksle, *b*, pavaizduota, kaip jie atrodo žmogui dirbant, užmiegant, miegant ir giliai įmigus.

2.7.2 pav.



Kitaip negu kai kurie gyvūnai, žmogus nejunta nei elektrinių, nei magnetinių laukų. Kadangi jo kūnas skleidžia tokius laukus, vadinasi, žmogus yra jautrus jiems, jų pokyčiams. Šiuo metu mus supančioje aplinkoje šalia Žemės magnetinio lauko yra daug įvairiausių techninių įrenginių sukurtų magnetinių ir elektrinių laukų. Buityje plačiai naudojami pramoninio (50 Hz) dažnio elektriniai įrenginiai. Aplink save jie sukuria silpnesnius ar stipresnius elektrinius ir magnetinius laukus, kurių intensyvumas priklauso nuo įrenginio galios ir būklės. Lentelėje pateikiame kai kurių buitinių prietaisų sukurtų elektrinių laukų stiprio ir magnetinės indukcijos modulio vertes.

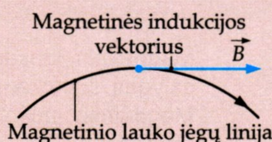
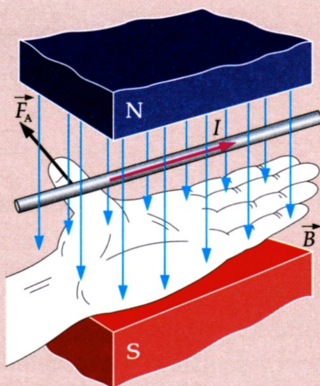
Buitinių prietaisų elektriniai ir magnetiniai laukai

Buitinis elektrinis prietaisas	Elektrinio lauko stipris, V/m	Magnetinė indukcija, μT		
		3 cm atstumu	30 cm atstumu	1 m atstumu
Televizorius	30	2,5–50,0	0,04–2,00	0,010–0,150
Dulkių siurblys	16	200,0–800,0	2,00–20,00	0,130–2,000
Lygintuvas	60	8,0–30,0	0,12–0,30	0,10–0,025
Plaukų džiovintuvas	40	6,0–2000,0	0,01–7,00	0,010–0,30
Elektrinis plaktuvas	50	60,0–700,0	0,60–10,00	0,020–0,250
Elektrinė viryklė	4	6–200	0,2–4,2	–
Elektrinė antklodė	250	–	–	–
Šaldytuvas	60	–	–	–
Dienos šviesos lempa	–	–	0,5–2,4	–
Mikrobangų krosnelė	–	–	4,0–12,0	–
Skalbyklė	–	–	0,01–0,40	–

Stiprius elektrinius ir magnetinius laukus skleidžia mikrobangų krosnelės, mobilieji telefonai, šaldytuvai (ypač neturintys apledėjimo sistemos), kompiuteriai, televizoriai, taip pat šildomos grindys (kai kurios), signalizacijos sistemos, elektros maitinimo kabeliai, transformatorinės. Tolstant nuo spinduolio, laukų stipris sparčiai mažėja.

Skyriaus „Magnetinis laukas“ apibendrinimas

Magnetinis laukas	Magnetinis laukas yra ypatingos formos materija, sudaranti sąlygas sąveikauti judančioms elektringosioms dalelėms. Magnetinio lauko savybės: • magnetinis laukas egzistuoja realiai, nepriklausomai nuo mūsų žinių apie jį; • jis veikia judančias elektringąsias daleles; • magnetinį lauką sukuria tik judantys elektros krūvininkai.
Magnetosfera	Magnetosfera – Žemės rutulį supanti erdvė, kurioje reiškiasi magnetinis laukas.
Magnetiniai Žemės poliai	Žemės paviršiaus ir magnetosferos ašies sankirtos taškai vadinami magnetiniais Žemės poliais.
Magnetinės audros	Magnetinės audros – trumpalaikiai Žemės magnetinio lauko sutrikimai.
Magnetinio lauko jėgų linijos	Linijos, išilgai kurių magnetiniame lauke išsidėsto geležies drožlės (magnetinės rodyklės), vadinamos magnetinio lauko jėgų linijomis, arba magnetinėmis linijomis. I N S Jų kryptį apibrėžia sraigto arba dešinės rankos taisyklė. Pirmoji teigia: kai sraigto slenkamojo judėjimo kryptis sutampa su laidininku tekančios srovės kryptimi, jo rankenos sukimosi kryptis rodo magnetinio lauko jėgų linijų kryptį. Antroji formuluojama taip: jei laidininką, kuriuo teka elektros srovė, apimsime dešine ranka taip, kad ištiestas nykštys rodytų srovės kryptį, tai kiti keturi pirštai rodys magnetinio lauko jėgų linijų kryptį.

Magnetinės indukcijos vektorius	Fizikinis dydis, apibūdinantis magnetinį lauką, vadinamas magnetinės indukcijos vektoriumi ir žymimas $\vec{B}$. Jis nukreiptas išilgai magnetinio lauko jėgų linijų liestinės.  Magnetinės indukcijos vektoriaus, kaip ir magnetinių linijų, kryptis nustatoma pagal sraigto arba dešinės rankos taisyklę. Magnetinės indukcijos moduliu (B) vadinamas didžiausios jėgos (F), kuria vienalytis magnetinis laukas veikia jame esančią laidininko dalį, ir tuo laidininku tekančios srovės stiprio (I) bei laidininko dalies ilgio (Δl) sandaugos santykis: $$B = \frac{F}{I\Delta l}.$$
Ampero jėga	Jėga, kuria magnetinis laukas veikia laidininką, kai juo teka elektros srovė, vadinama Ampero jėga. Ji lygi magnetinės indukcijos modulio B, srovės stiprio I, laidininko dalies ilgio Δl ir kampo α tarp magnetinės indukcijos vektoriaus $\vec{B}$ bei laidininko dalies sinuso sandaugai: $$F_A = BI\Delta l \sin \alpha.$$ Ampero jėgos kryptį apibrėžia kairės rankos taisyklė: jei kairė ranka laikoma taip, kad magnetinės indukcijos linijos eina statmenai į jos delną, o keturi ištiesti pirštai rodo elektros srovės kryptį, tai delno plokštumoje 90° kampu ištiestas nykštys rodo laidininko dalį veikiančios jėgos kryptį. 
Elektros variklis	Elektros variklis – įrenginys, kuris elektros energiją paverčia mechanine energija.

Lorenco jėga	Jėga, kuria magnetinis laukas veikia judančią elektringąją dalelę, vadinama Lorenco jėga. Jos modulis lygus elektringosios dalelės krūvio modulio ($\lvert q \rvert$), judėjimo greičio (v), magnetinės indukcijos vektoriaus modulio (B) ir kampo α tarp dalelės greičio ir magnetinės indukcijos vektorių sinuso sandaugai: $$F_L = \lvert q \rvert vB \sin \alpha.$$ Lorenco jėgos kryptis nustatoma pagal kairės rankos taisyklę: jei kairė ranka laikoma taip, kad magnetinės indukcijos linijos eina statmenai į jos delną, o keturi ištiesti pirštai rodo teigiamosios elektringosios dalelės judėjimo kryptį, tai delno plokštumoje 90° kampu ištiestas nykštys rodo dalelę veikiančios Lorenco jėgos kryptį.
Magnetinė skvarba	Fizikinis dydis, kuris rodo, kiek kartų magnetinio lauko indukcija (B) vienalytėje terpėje skiriasi nuo magnetinio lauko indukcijos (B_0) vakuume, vadinamas magnetine skvarba: $$\mu = \frac{B}{B_0}.$$
Diamagnetikai	Diamagnetikais vadinamos medžiagos, sukuriančios savąjį magnetinį lauką, kuris nedaug susilpnina išorinį magnetinį lauką. Diamagnetikų $\mu \leq 1$.
Paramagnetikai	Paramagnetikais vadinamos medžiagos, sukuriančios savąjį magnetinį lauką, kuris šiek tiek sustiprina išorinį magnetinį lauką. Paramagnetikų $\mu \geq 1$.
Feromagnetikai	Feromagnetikais vadinamos medžiagos, sukuriančios savąjį magnetinį lauką, kuris labai sustiprina išorinį magnetinį lauką. Feromagnetikų $\mu \gg 1$.
Domenas	Maža (10^{-2}–10^{-4} cm) feromagnetiko kristalo sritis, kurioje įmagnetėjimas yra vienodas, vadinama domenu.
Nuolatinis magnetas	Feromagnetikai, išlaikantys įmagnetėjimą, vadinami nuolatiniais magnetais.
Kiuri temperatūra	Temperatūra, kuriai esant medžiaga praranda feromagnetines savybes, vadinama Kiuri temperatūra.



E l e k t r a





3 Elektros srovė įvairiose terpėse

Šiame skyriuje prisiminsite ir papildysite IX klasėje įgytas žinias apie elektros srovę įvairiose terpėse: laidininkuose, puslaidininkiuose, vakuume, skysčiuose, dujose. Be to, susipažinsite su radiotechnikoje dabar dažniausiai naudojamais prietaisais: puslaidininkiniais diodais, tranzistoriais, fotovaržais, fotoelementais. Prisiminsite ir naudotus anksčiau: lempinius diodus bei triodus, taip pat svarbiausią senos kartos televizorių ir kompiuterių monitorių detalę – elektroninį vamzdį.

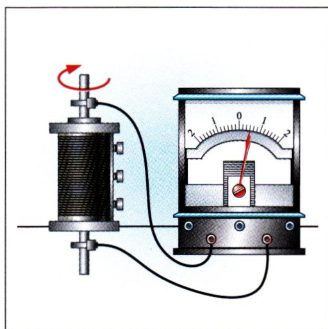
3.1. Elektroninis metalų laidumas

! Pagrindinės sąvokos

Temperatūrinis varžos koeficieñtas, superlaidùmas.

Metalų laidumo prigimtis

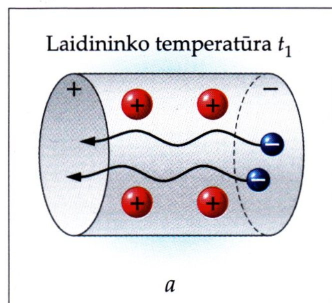
Elektros srovė gali tekėti įvairiomis terpėmis: metalais, skysčiais, dujomis. Apie elektros srovės tekėjimą metaliniais laidininkais žinote jau nemažai: išnagrinėjote Omo dėsnį $\left(I = \frac{U}{R}\right)$, išsiaiškinote elektrinės varžos fizikinę prigimtį. Liko tik aptarti elektros srovės tekėjimą metaliniais laidininkais medžiagų sandaros požiūriu.

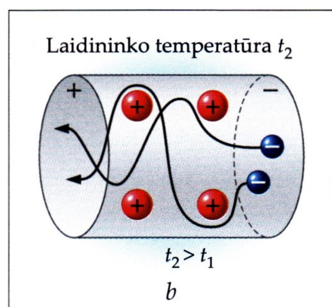


3.1.1 pav.

XX a. pradžioje bandymais buvo įrodyta, kad elektros srovę metaluose sukelia laisvieji elektronai. Tuos bandymus 1913 m. atliko rusų fizikai Leonidas Mandelštamas ir Nikolajus Papaleksis. Eksperimentuotojai ritę apvyniojo viela, o jos galus prilitavo prie dviejų vienas nuo kito izoliuotų metalinių skritulių (3.1.1 pav.). Tada skritulius slankiaisiais kontaktais sujungė su galvanometru. Ritė buvo dideliu greičiu įsukama, paskui staiga stabdoma. Ritę staiga sustabdžius, elektronai iš inercijos dar juda ritės atžvilgiu. Vadinasi, joje atsiranda elektros srovė. Tačiau ji teka neilgai, nes dėl elektronų ir jonų sąveikos (3.1.2 pav., *a*) kryptingas elektronų judėjimas nutrūksta. Pagal elektros srovės, tekančios galvanometru, kryptį nustatyta, kad srovę ritėje sukelia neigiamosios elektringosios dalelės. Išmatavus elektros krūvį, perėjusį galvanometru per visą srovės tekėjimo grandine laiką, buvo apskaičiuotas tų dalelių elektros krūvio ir masės santykis. Gautas rezultatas sutapo su elektrono krūvio ir masės santykiu $\left(\frac{e}{m}\right)$, kuris bandymais jau buvo nustatytas anksčiau.

3.1.2 pav.



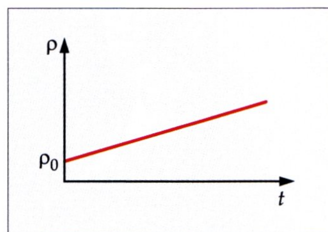


Kai elektrinio lauko nėra, laisvieji elektronai metalo kristale juda netvarkingai (žr. 1.1.1 pav., *a*). Elektrinio lauko veikiami, jie ima judėti viena kryptimi (1.1.1 pav., *b* ir *c*) – metaliniame laidininke atsiranda elektros srovė. Elektriniame lauke elektronai įgyja greitį, kuris yra tiesiogiai proporcingas elektrinio lauko stipriui ($v \sim E$), o kartu ir potencialų skirtumui ($v \sim U$)

laidininko galuose $\left(\text{nes } E = \frac{U}{\Delta l}\right)$. Kadangi elektros srovės stipris yra tiesiogiai proporcingas elektringųjų dalelių judėjimo greičiui ($I = q_0 nvS$), tai jis tiesiogiai proporcingas ir įtampai ($I \sim U$). Tai kokybinis Omo dėsnio aiškinimas, pagrįstas elektronine metalų laidumo teorija.

Elektrinės varžos priklausomybė nuo temperatūros

Laisvieji elektronai, judėdami metaliniu laidininku, sąveikauja su kristalinės gardelės jonais (3.1.2 pav., *a*). Kaitinant laidininką ($t_2 > t_1$), gardelės jonai svyruoja vis smarkiau ir labiau trukdo judėti laisviesiems elektronams (3.1.2 pav., *b*). Laidininko pasipriešinimą jo elektringųjų dalelių judėjimui apibūdina savitóji elektrìnė varžà. Vadinasi, kaitinant metalinį laidininką, jo savitoji varža didėja. Metalinio laidininko savitosios varžos priklausomybė nuo temperatūros yra tiesinė (3.1.3 pav.):



3.1.3 pav.

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha t); \qquad (3.1)$$

čia ρ – laidininko savitoji varža esant temperatūrai t, ρ_0 – esant 0 °C temperatūrai, α – ***temperatūrinis varžõs koeficieñtas***, apibūdinantis medžiagos varžos priklausomybę nuo temperatūros. ***Temperatūrinis varžos koeficientas rodo santykinį laidininko varžos pokytį temperatūrai pakitus vienu laipsniu:***

$$\alpha t = \frac{R - R_0}{R_0}. \qquad (3.2)$$

Kai laidininko temperatūra pakinta nedaug, koeficientą α galima laikyti pastoviu. Grynųjų metalų temperatūrinis varžos koeficientas

$$\alpha = \frac{1}{273}\ \text{K}^{-1}. \qquad (3.3)$$

Kai kurių lydinių, pavyzdžiui, konstantano (vario ir nikelio lydinio), temperatūrinis varžos koeficientas yra labai mažas ($\alpha = 10^{-5}\ \text{K}^{-1}$), o savitoji varža – labai didelė (apie $10^{-6}\ \Omega \cdot \text{m}$). Iš tokių lydinių gaminami etaloniniai varžai matavimo prietaisams.

Metalų varžos priklausomybė nuo temperatūros taikoma varžìniuose termomètruose. Apie temperatūros pokytį sprendžiama pagal vielos varžos pokytį. Tokie termometrai naudojami labai aukštai arba labai žemai temperatūrai matuoti.

Superlaidumas

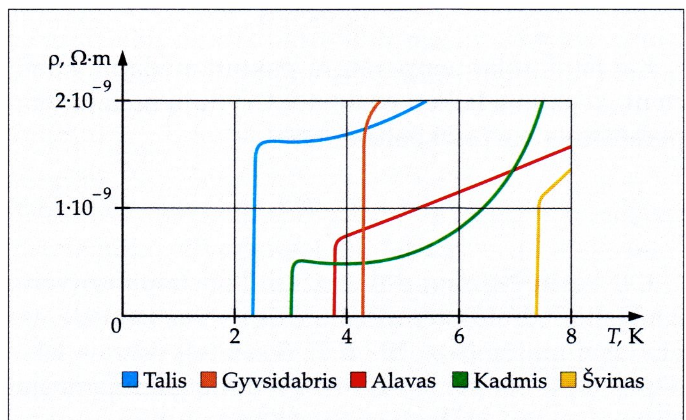


Heikė Kamerlingas Onesas

Temperatūrai artėjant prie absoliučiojo nulio, metalų savitoji elektrinė varža labai sumažėja. Idealios kristalinės gardelės elektronai tokioje temperatūroje juda nesąveikaudami su jonais. 1911 m. olandų mokslininkas Heikė Kamerlingas Onesas (*Heike Kamerlingh Onnes*, 1853–1926) pastebėjo, kad, gyvsidabrio temperatūrai nukritus iki 4,1 K, jo savitoji varža labai staigiai sumažėja iki nulio. 3.1.4 paveiksle pavaizduoti kai kurių metalų savitosios elektrinės varžos kitimo arti absoliučiojo nulio grafikai.

Staigus laidininko savitosios elektrinės varžos sumažėjimas iki nulio, kai temperatūra pasidaro artima absoliučiajam nuliui, vadinamas ***superlaidumù***. Medžiagos, kurios tam tikroje temperatūroje gali virsti superlaidžiomis, vadinamos ***superlaĩdininkais***. Tokiomis medžiagomis elektros srovė teka nepatirdama energijos nuostolių. Kartą sužadinta, ji gali tekėti superlaidžiu žiedu nekisdama neapibrėžtai ilgai. Sukūrus superlaidžias elektros perdavimo linijas, būtų galima sutaupyti nepaprastai daug elektros energijos. Tačiau kol kas tai neįmanoma, nes, norint liniją padaryti superlaidžią, reikia ją atšaldyti iki temperatūros, žemesnės negu 20 K (–253 °C).

3.1.4 pav.



Klausimai ir užduotys

1. Kaip bandymais buvo įrodyta, kad elektros srovę metaliniuose laidininkuose sukelia elektronai?

2. Kaip kinta metalų elektrinė varža, didėjant temperatūrai? Atsakymą pagrįskite.

3. Koks yra temperatūrinio varžos koeficiento matavimo vienetas?

4. Įrodykite, kad 3.1 formulė išplaukia iš 3.2 formulės.

5. Ką vadiname superlaidumu?

6. Parenkite projektą apie superlaidumą. Galite nagrinėti superlaidumo reiškinį istoriniu aspektu, šiuolaikinės fizikos laimėjimus superlaidumo srityje, superlaidumo vaidmenį sprendžiant energetikos problemas ir pan.

3.2. Elektros srovė puslaidininkiuose

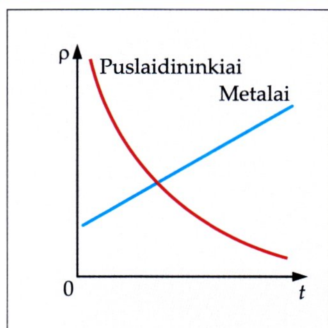
Puslaidininkių sandara

Fizikos istorija byloja, kad puslaidininkiai ilgai nesusilaukė nei fizikų, nei inžinierių susidomėjimo. Pirma, elektros srovė jais teka prasčiau negu laidininkais. Antra, jie nėra ir geri izoliatoriai. Tik XX a. ketvirtajame–šeštajame dešimtmetyje mokslininkai pastebėjo, kad puslaidininkiai turi unikalių savybių, dėl kurių juos galima pritaikyti elektronikoje, ryšio sistemose, saulės baterijų gamyboje. ***Pùslaidininkiais vadinamos medžiagos, kurios pagal laidumą elektros srovei yra tarp laidininkų ir dielektrikų.*** Elektrotechnikoje plačiausiai naudojami šie puslaidininkiai: silicis (Si), germanis (Ge), selenas (Se). Taip pat paplitę kai kurie junginiai: galio arsenidas (GaAs), švino sulfidas (PbS), kadmio sulfidas (CdS) ir kt.

Nuo laidininkų puslaidininkiai labiausiai skiriasi jų savitosios elektrinės varžos priklausomybe nuo temperatūros. Žinome, kad, kylant temperatūrai, laidininkų savitoji elektrinė varža didėja. Puslaidininkių,

Pagrindinės sąvokos

Pùslaidininkis,
skylė̃,
savàsis laidùmas,
elektròninis laidùmas,
skylìnis laidùmas,
priemaišìnis laidùmas,
donorìnė príemaiša,
akceptorìnė príemaiša,
elektròninis pùslaidininkis,
skylìnis pùslaidininkis.



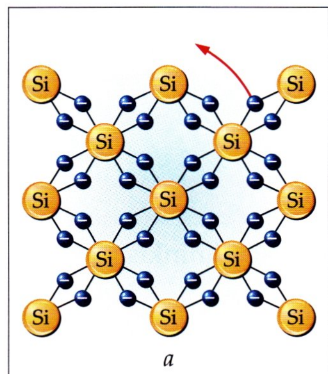
3.2.1 pav.

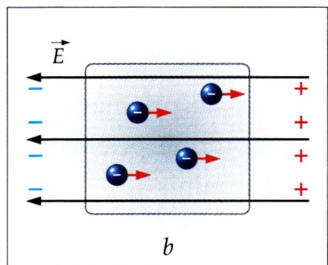
atvirkščiai, ji mažėja (3.2.1 pav.). Norint paaiškinti šį reiškinį, tenka prisiminti puslaidininkių sandarą.

Cheminiai elementai, priskiriami puslaidininkiams, išsidėstę periodinės elementų lentelės IV, V ir VI grupėje. Vadinasi, jie turi po 4–6 valeñtinius elektronùs. Šie elektronai su branduoliu susiję stipriau negu laidininkų, bet silpniau nei dielektrikų. Antai elektronui išlaisvinti dielektrike reikia apie 10 eV[1] energijos, o puslaidininkyje pakanka 1–2 eV.

Puslaidininkiai paprastai yra kristalai, kurių gardelės mazguose išsidėstę atomai arba teigiamieji jonai. Gretimi atomai tarpusavyje sąveikauja per kovaleñtinį rỹšį sudarančius jų elektronus. (Susidarant šiam ryšiui, iš kiekvieno atomo dalyvauja po vieną valentinį elektroną.) Šie elektronai priklauso ne tik dviem atomams, bet ir visam kristalui. Bet kuris valentinis elektronas gali atitrūkti nuo atomo, pereiti į gretimą, paskui – į tolimesnį ir taip judėti visu kristalu. Kai temperatūra žema, kovalentiniai atomų ryšiai yra labai stiprūs ir laisvųjų elektronų beveik nėra. Dėl to išorinis elektrinis laukas negali sukelti elektros srovės. Tada puslaidininkių savybės panašios į dielektrikų.

3.2.2 pav.





Savasis puslaidininkių laidumas

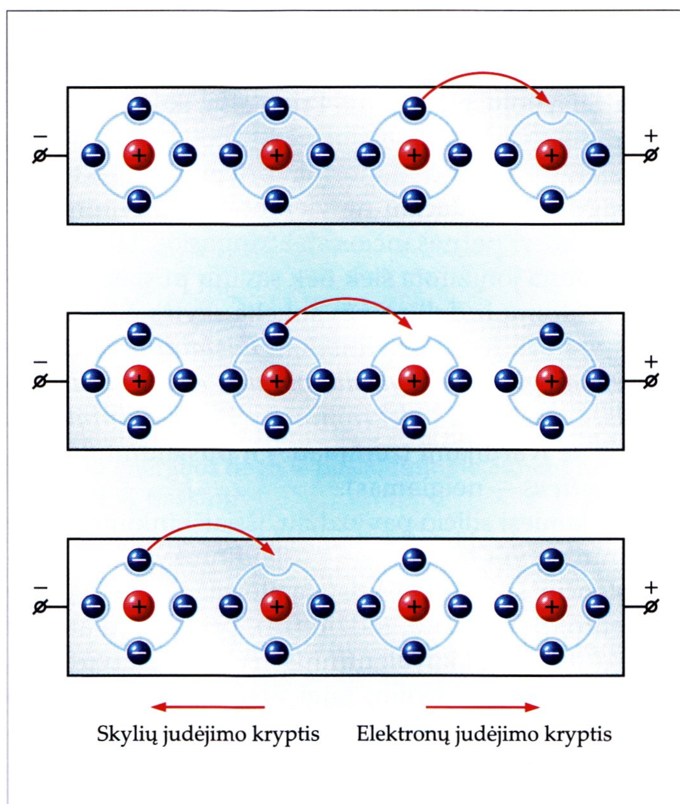
Grynųjų puslaidininkių (neturinčių priemaišų) laidumas vadinamas ***savúoju laidumù***. Jis būna elektròninis ir skylìnis. Išsamiau panagrinėkime kiekvieną savojo laidumo rūšį.

Kalbėdami apie elektroninį savąjį puslaidininkių laidumą, remkimės silicio sandara. Silicis yra keturvalentis cheminis elementas. Vadinasi, jo išoriniame sluoksnyje esantys keturi valentiniai elektronai sudaro keturis kovalentinius ryšius. Kaitinant silicio kristalą, jo valentinių elektronų energija, taigi ir judėjimo greitis, didėja. Dėl to atskiri kovalentiniai ryšiai ima trūkinėti (3.2.2 pav., *a*), o elektronai nukrypsta nuo savo judėjimo trajektorijos ir pasidaro laisvi (panašiai lenktyniniai automobiliai, važiuodami dideliu greičiu, posūkyje kartais išlekia iš trasos). Kylant temperatūrai, nutrūkusių ryšių, o dėl to ir laisvųjų elektronų daugėja. Pavyzdžiui, puslaidininkį kaitinant nuo 300 K iki 700 K, laisvųjų elektronų skaičius jame pa-

[1] 1 eV – tai energija, kurią įgyja elektronas, greitėdamas elektriniame lauke tarp dviejų taškų, kai įtampa tarp jų lygi 1 V. 1 eV = $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ J.

didėja nuo 10^{17} m^{-3} iki 10^{24} m^{-3}. Elektriniame lauke jie juda tarp kristalinės gardelės mazgų, sudarydami elektros srovę (3.2.2 pav., *b*). Su laisvaisiais elektronais susijęs puslaidininkių laidumas vadinamas ***elektròniniu laidumù***.

Nutrūkus kovalentiniam ryšiui, atsiranda laisva vieta, kurią gali užimti gretimo atomo elektronas. Ta vieta vadinama ***skylė̀***. Skylės padėtis kristale kinta. Vienas iš atomų ryšį lemiančių elektronų peršoka į atsiradusios skylės vietą ir čia atstato kovalentinį ryšį. Toje vietoje, iš kurios peršoko elektronas, atsiranda nauja skylė. Į ją pereina kito atomo elektronas ir t. t. Taigi skylės netvarkingai juda visu kristalu. Puslaidininkio kristalui atsidūrus elektriniame lauke, jos ima judėti kryptingai – atsiranda ***skyl̀inio laidùmo*** elektros srovė (3.2.3 pav.). Suprantama, kad skylinio, kaip ir elektroninio, laidumo srovę sukelia kryptingai judantys elektronai. Idealiame puslaidininkio kristale neigiamųjų laisvųjų elektronų ir teigiamųjų skylių skaičius yra vienodas.

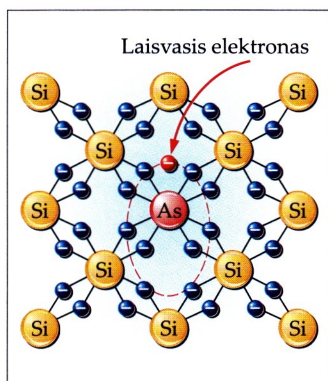


3.2.3 pav.

Priemaišinis puslaidininkių laidumas

Savasis puslaidininkių laidumas menkas. Į puslaidininkį įterpus priemaišų, jis smarkiai padidėja. Atsiradęs papildomas laidumas vadinamas ***priemaišiniù laidumù***. Jis priklauso nuo priemaišos rūšies ir koncentracijos. Puslaidininkiuose su priemaiša vyrauja vienos rūšies (elektroninis arba skylinis) laidumas. Pagal tai jie skirstomi į dvi rūšis: elektròninius pùslaidininkius ir skyliniùs pùslaidininkius.

Priemaišinio puslaidininkių laidumo rūšys

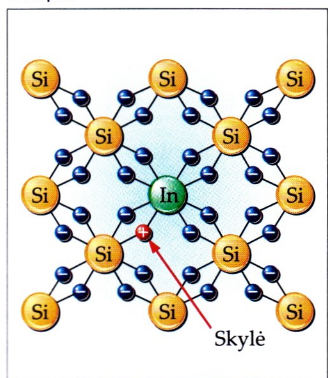


3.2.4 pav.

Pirmiausia aptarkime elektroninius puslaidininkius. Jie gaunami, kai į mažesnio valentingumo medžiagą įterpiama didesnio valentingumo medžiagos, pavyzdžiui, į keturvalentį silicį (Si) įdedama penkiavalenčio arseno (As; 3.2.4 pav.). Arseno atomas sudaro keturis kovalentinius ryšius su silicio atomais, o penktasis valentinis jo elektronas lieka silpnai susijęs su atomo branduoliu. Todėl net kambario temperatūros sąlygomis jis nesunkiai atitrūksta nuo branduolio ir virsta laisvuoju elektronu. Priemaiša, kuri atiduoda elektronus, vadinama ***donorinė̀***.

Puslaidininkio su donorine priemaiša elektronai yra pagrindiniai, tačiau ne vieninteliai krūvininkai – elektros krūvį pernešančios elektringosios dalelės. Paprastai būna jonizuota šiek tiek savųjų puslaidininkio kristalo atomų ir dalį srovės sukelia skylės. Šiuo atveju jos yra šalutiniai krūvininkai. ***Puslaidininkiai, kuriuose, palyginti su skyliniu, vyrauja elektroninis laidumas, vadinami elektròniniais pùslaidininkiais.*** Kartais jie įvardijami trumpiau – n puslaidininkiai (iš lot. *negativus* – neigiamas).

3.2.5 pav.



Remdamiesi silicio pavyzdžiu, išsiaiškinkime, kokie krūvininkai yra skyliniame puslaidininkyje. Kai į keturvalenčio silicio (Si) kristalą įterpiama trivalenčio elemento, pavyzdžiui, indžio (In), priemaišos atomai sudaro tik tris kovalentinius ryšius. Ketvirtajam trūksta vieno elektrono, taigi atsiranda skylė (3.2.5 pav.). Priemaiša, sukurianti skyles, vadinama ***akceptorinė̀***. Skylių tokiame kristale yra tiek pat, kiek priemaišos atomų. ***Puslaidininkiai, kuriuose, palyginti su***

elektroniniu, vyrauja skylinis laidumas, vadinami skỳliniais pùslaidininkiais. Šios rūšies puslaidininkiai dar vadinami p puslaidininkiais (iš lot. *positivus* – teigiamas). Pagrindiniai skylinio puslaidininkio krūvininkai yra skylės, o šalutiniai – elektronai.

Klausimai ir užduotys ??

1. Ką vadiname savuoju puslaidininkių laidumu? Kokių judriųjų elektringųjų dalelių yra tokiame puslaidininkyje?

2. Ką vadiname priemaišiniu puslaidininkių laidumu?

3. Kokio laidumo puslaidininkį gausime įterpę į germanį:

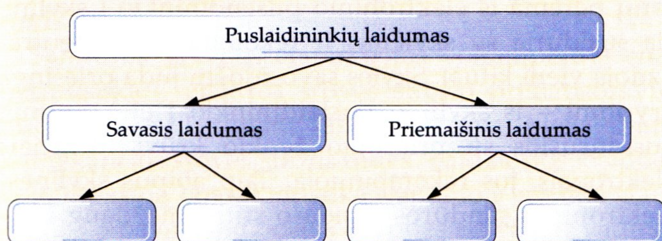
a) galio; b) arseno; c) seleno; d) indžio?

4. Kodėl, kylant temperatūrai, puslaidininkių varža mažėja, o metalų didėja?

5. Ar galima, didinant puslaidininkių temperatūrą, pasiekti, kad jų laidumas prilygtų metalų laidumui? Kodėl?

6. Nurodykite, kuo iš esmės skiriasi metalų ir elektroninių puslaidininkių laidumas.

7. Sąsiuvinyje pabaikite pildyti schemą, nurodančią puslaidininkių laidumo rūšis:



8*. Apšviestų puslaidininkių varža sumažėja, o metalų nepakinta, nors elektronui išplėšti iš metalo atomų reikia mažiau energijos negu iš puslaidininkio atomų. Kaip paaiškinti šį reiškinį?

9. Kokiomis sąlygomis puslaidininkis virsta dielektriku? Ar, būdamas tokios būsenos, jis gali išlaikyti puslaidininkio savybes?

10. Kambario temperatūroje germanio laidumo elektronų koncentracija lygi $3 \cdot 10^{19}$ m^{-3}. Kurią bendro atomų skaičiaus dalį sudaro laidumo elektronai, kai germanio tankis 54 000 kg/m^3, o molio masė 0,073 kg/mol?

($6{,}7 \cdot 10^{-10}$ dalį)

3.3. Puslaidininkinė sandūra. Puslaidininkiniai prietaisai

Pagrindinės sąvokos

Puslaidininkìnė sándūra,
užtvarìnis slúoksnis,
laidžiõji kryptìs,
užtvarìnė kryptìs.

Puslaidininkinė sandūra

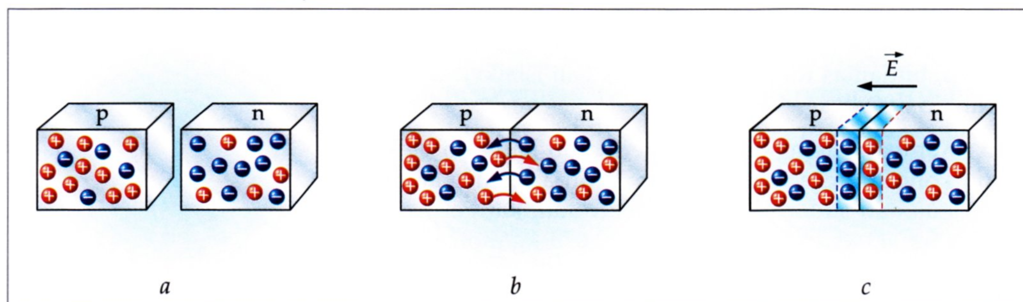
Praktikoje plačiai naudojami prietaisai, sudaryti iš dviejų skirtingų puslaidininkių: elektroninio ir skylinio. Dviejų skirtingo laidumo puslaidininkių kontaktas, arba riba, skirianti skylinio ir elektroninio laidumo sritis, vadinama ***skylinė-elektròninė sándūra***.

3.3.1 paveiksle, *a*, pavaizduoti du skirtingi puslaidininkiai. Mėlyni rutuliukai žymi elektronus, t. y. pagrindinius elektroninio puslaidininkio krūvininkus ir šalutinius skylinio puslaidininkio krūvininkus, raudoni – skyles: pagrindinius skylinio puslaidininkio krūvininkus ir šalutinius elektroninio puslaidininkio krūvininkus. Suglaudus šiuos puslaidininkius, prasideda krūvininkų difuzija (3.3.1 pav., *b*). Dalis elektronų pereina iš elektroninio puslaidininkio į skylinį, čia susiduria su skylėmis ir rekombinuoja[1] (neutralizuoja vieni kitus). Skylės savo ruožtu juda priešinga kryptimi – iš skylinio puslaidininkio į elektroninį[2]. Susidūrusios su priešingo ženklo krūvį turinčiais elektronais, jos rekombinuoja. Taip abipus skylinės-elektroninės sandūros susidaro sritis (maždaug 10^{-6}–10^{-7} m pločio), kurioje krūvininkų labai sumažėja. Dėl to šios srities varža padidėja ir toji sritis virsta dielektriku.

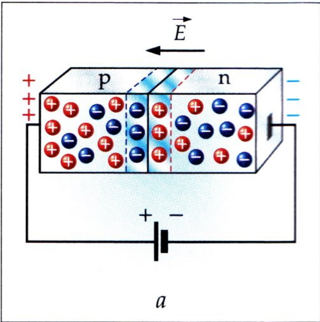
[1] Žodis „rekombinacija“ kilęs iš lot. *re* – veiksmo atnaujinimas arba pasikartojimas, priešingas veiksmas arba pasipriešinimas, *combinatio* – jungimas, derinimas.

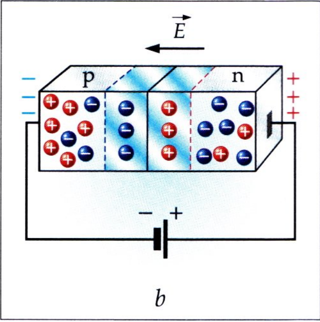
[2] Iš tikrųjų iš elektroninio puslaidininkio į skylinį pereina valentiniai elektronai, dėl to skylės juda priešinga kryptimi.

3.3.1 pav.



Elektronams toliau skverbiantis iš elektroninio puslaidininkio į skylinį, o skylėms – iš skylinio puslaidininkio į elektroninį, prie sandūros elektroninio laidumo srityje susidaro teigiamojo krūvio perteklius, o skylinio laidumo srityje – neigiamojo krūvio perteklius (3.3.1 pav., *c*). Šie atsiradę priešingo ženklo krūviai skylinės-elektroninės sandūros srityje sukuria elektrinį lauką $(\vec{E})$, kuris stabdo difuziją. Susidaro ***užtvarìnis slúoksnis*** – priešingo ženklo krūvininkų sritys abipus sandūros, stabdančios tolesnį elektringųjų dalelių judėjimą. Taip skylinėje-elektroninėje sandūroje nusistovi dinaminė pusiausvyra.



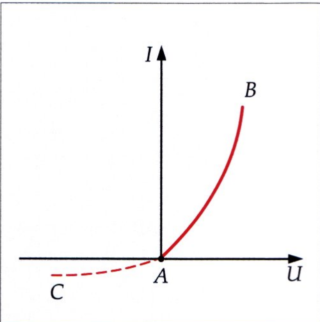


3.3.2 pav.

Laidžioji ir užtvarinė kryptis

Tokį dvigubą puslaidininkį su skyline-elektronine sandūra prijunkime prie srovės šaltinio: skylinį puslaidininkį – prie teigiamojo poliaus, elektroninį – prie neigiamojo (3.3.2 pav., *a*). Šiuo atveju elektros srovę per sandūrą sukels pagrindiniai krūvininkai. Iš elektroninio puslaidininkio į skylinį judės elektronai, o iš skylinio į elektroninį – skylės. Dėl to viso puslaidininkio laidumas bus didelis, o varža – maža. Nagrinėjama sandūra bus įjungta į grandinę ***laidžiąja kryptimì***.

Sandūros savybes atspindi jos voltamperinė charakteristika – elektros srovės stiprio priklausomybė nuo įtampos. Didinant šaltinio įtampą, puslaidininkiu tekančios srovės stipris didės. Laidžiosios krypties voltamperinę charakteristiką vaizduoja grafiko dalis *AB* (3.3.3 pav.). Laidžiosios krypties srovė dar vadinama tiesiógine srovè.



3.3.3 pav.

Sukeiskime srovės šaltinio polius (3.3.2 pav., *b*). Dabar skyline-elektronine sandūra ims judėti šalutiniai krūvininkai: iš elektroninio puslaidininkio – skylės, iš skylinio – elektronai. Tačiau skyliniame puslaidininkyje yra mažai elektronų, o elektroniniame – skylių. Pagrindiniai krūvininkai, veikiami elektrinio lauko, tols nuo skylinės-elektroninės sandūros. Dėl to srovės stipris puslaidininkyje, esant tai pačiai įtampai, bus daug mažesnis negu laidžiąja kryptimi. Toks sandūros jungimo į grandinę būdas vadinamas jungimu ***užtvarinè kryptimì***. Elektros srovę, tekančią šia kryptimi įjungta skyline-elektronine sandūra, lemia tik sa-

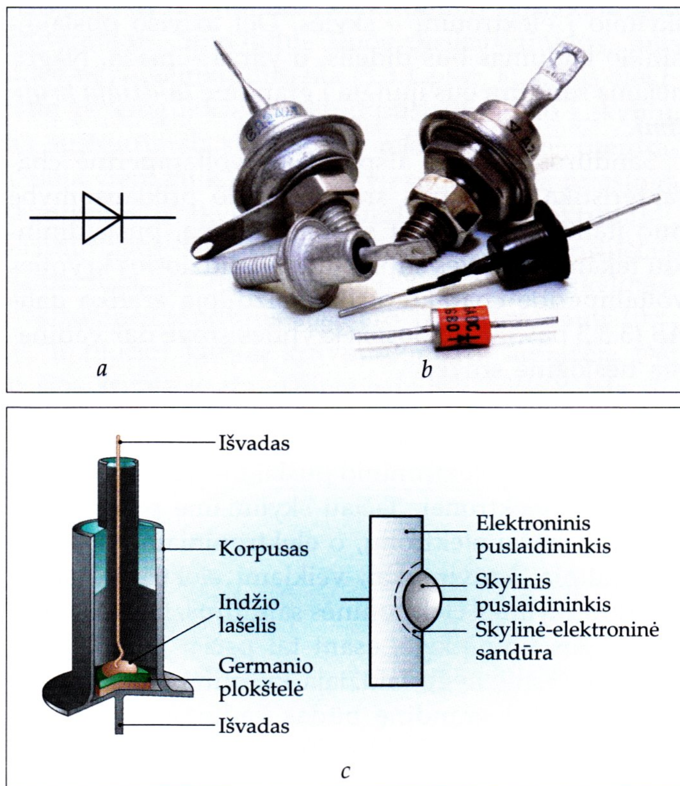
vasis puslaidininkių laidumas. Užtvarinės krypties voltamperinę charakteristiką vaizduoja grafiko dalis *CA* (3.3.3 pav.). Užtvarinės krypties srovė vadinama atgalinė srovė.

Puslaidininkinis diodas

Matome, kad skylinė-elektroninė sandūra laidi elektros srovei tik viena kryptimi. Ši jos savybė taikoma puslaidininkiniuose dioduose. ***Puslaidininkiniù diodù*** vadinamas prietaisas, turintis vieną skylinę-elektroninę sandūrą ir du išvadus, kuriais jungiamas į elektrinę grandinę. Puslaidininkiniai diodai gaminami iš seleno, germanio, silicio ir kitų medžiagų. Elektrinėse schemose jie žymimi ženklu, pavaizduotu 3.3.4 paveiksle, *a*. Smailės kryptis sutampa su laidžiąja kryptimi (iš skylinio puslaidininkio į elektroninį). 3.3.4 paveiksle, *b*, matote keletą puslaidininkinių diodų.

Mechaniškai suliečiant du skirtingo laidumo puslaidininkius, pavyzdžiui, elektroninio laidumo ger-

3.3.4 pav.



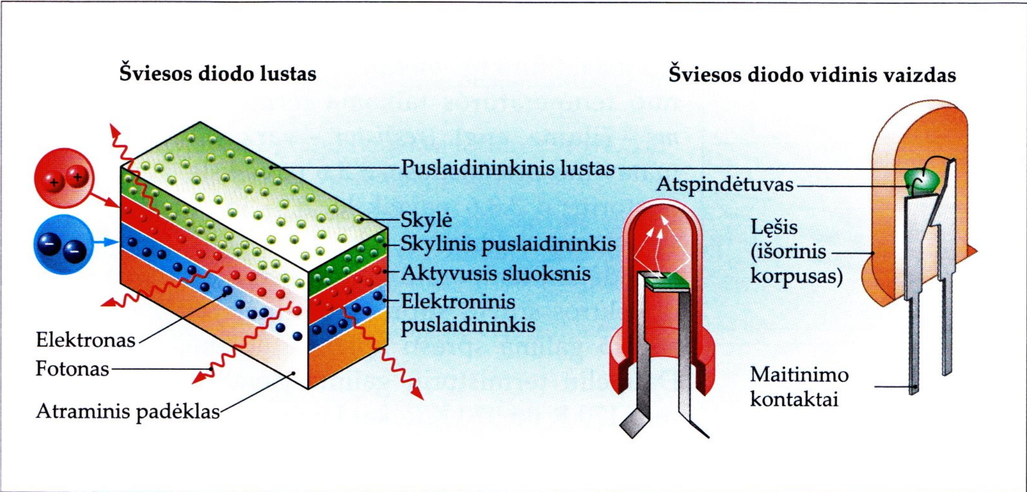
manį ir skylinio laidumo indį, skylinės-elektroninės sandūros gauti nepavyksta, nes tarp jų susidaro pernelyg didelis (palyginti su atstumu tarp atomų) tarpas. Todėl skylinė-elektroninė sandūra sudaroma įlydant į germanio paviršių indžio (3.3.4 pav., *c*). Indžio atomams skverbiantis į germanį, jo paviršiuje susidaro skylinio laidumo sritis. Kita germanio dalis, į kurią indžio atomai nepatenka, tebėra elektroninio laidumo. Taip tarp skirtingo laidumo sričių susidaro skylinė-elektroninė sandūra. Siekiant išvengti aplinkos poveikio (šviesos, oro), diodai dedami į hermetiškus apsauginius apvalkalus. Puslaidininkiniai diodai naudojami kintamajai srovei lyginti, skaičiavimo technikoje, radiotechnikoje.

Šviesos diodai

Šviesą spinduliuojančių diodų, arba šviesos diodų, veikimas taip pat pagrįstas puslaidininkinės sandūros savybėmis. Šviesos diodas – skaidrus, bespalvis, ritinio formos kūnas, kurio skersmuo apie 5 mm, o ilgis apie 8 mm. Apžiūrėję įjungtą šviesos diodą, pamatysime per jo pagrindą einančią vielą ir puslaidininkinį lustą (3.3.5 pav.). Jo viduje yra sluoksnis, turintis elektronų perteklių, t. y. elektroninis puslaidininkis. Virš jo yra kitas sluoksnis – skylinis puslaidininkis. Tarp jų susidaro skylinė-elektroninė sandūra.

Tokią sandūrą įjungus laidžiąja kryptimi, dalis į skylinį puslaidininkį patekusių elektronų ir į elekt-

3.3.5 pav.



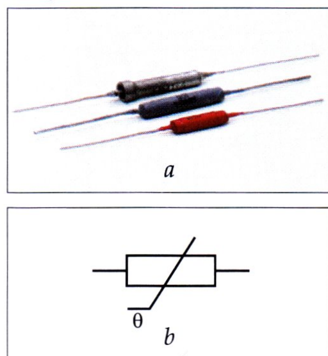
roninį puslaidininkį prasiskverbusių skylių rekombinuoja su pagrindiniais krūvininkais. Tuo metu elektros energija paverčiama šviesos energija. Diodai, skleidžiantys žalią, geltoną ir raudoną šviesą, sukurti jau seniai, o mėlyną – tik pastaruoju metu. Šviesos diodų privalumas yra tas, kad švytėti jie pradeda labai greitai.

Šiuo metu stengiamasi sumažinti šviesos diodų gamybos kainą, padidinti jų efektyvumą, išplėsti spinduliuojamų spalvų gamą. Raudonų, žalių ir mėlynų šviesos diodų išvesčių spinduliuotes visada galima sumaišyti ir gauti baltą šviesą, kuri būtų labai plačiai taikoma. Tokie diodai turėtų pakeisti daugiau kaip prieš šimtmetį Tomo Edisono (*Thomas Edison*) išrastas kaitinamąsias lempas.

Kai kur kaitinamosios lempos jau dabar keičiamos šviesos diodais. Naujos jų taikymo galimybės ryškiausios yra automobilių pramonėje. 60–70 % Euròpoje pagamintų automobilių šviesos diodus turi įmontuotuose stabdžių signaluose. Šviesos diodai pradedami naudoti ir žibintų bei posūkių šviesos signaluose. Stabdžių signalo šviesos diodų galia tik 10–25 W, t. y. gerokai mažesnė kaip panašaus ryškio kaitinamosios lempos (50–150 W). Taip sutaupyta elektros energija leidžia vos per metus kompensuoti didesnę šviesos diodų kainą. Tikimasi, kad šio dešimtmečio pabaigoje jie bus svarbiausi šaltiniai, naudojami automobilių išorės raudonuose ir geltonuose signaluose.

Termistoriai

3.3.6 pav.



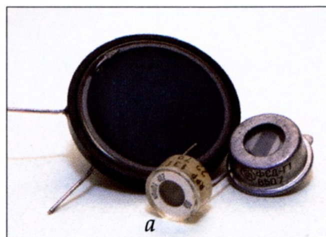
Puslaidininkių elektrinės varžos priklausomybė nuo temperatūros taikoma termìstoriuose (gr. *therme* – šiluma, angl. *(res)istor* – varžas) – temperatūros matavimo prietaisuose. 3.3.6 paveiksle, *a*, matote termistorių, o 3.3.6 paveiksle, *b*, – jo sutartinį ženklą, vartojamą elektrinėse schemose.

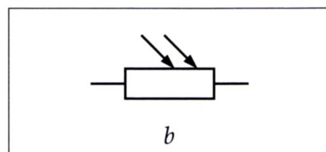
Didėjant temperatūrai, termistoriaus varža mažėja, o elektros srovės stipris grandinėje didėja. Iš srovės stiprio galima spręsti apie matuojamą temperatūrą. Daugeliu termistorių galima išmatuoti temperatūrą nuo 170 K iki 570 K, o kai kuriais – net ir labai aukštą (≈1300 K). Termistoriai naudojami temperatūrai matuoti per atstumą, priešgaisrinei signalizacijai.

Fotovaržai

Puslaidininkių elektrinė varža mažėja ne tik juos kaitinant, bet ir apšviečiant. Mat dėl šviesos energijos poveikio nutrūksta kovalentiniai ryšiai ir padaugėja laisvųjų elektronų bei skylių. Vadinasi, puslaidininkio elektrinis laidumas padidėja. Prietaisai, kuriuose taikomas šis reiškinys, vadinami fotovaržaĩs (3.3.7 pav., *a*). Jie naudojami silpniems šviesos srautams registruoti, įvairių gaminių paviršiaus kokybei tikrinti ir matmenims tiksliai nustatyti. 3.3.7 paveiksle, *b*, parodytas fotovaržo sutartinis ženklas.

Visų aptartų puslaidininkinių prietaisų privalumas yra tas, kad jie maži, patikimesni, atsparesni išoriniams veiksniams, vibracijai, vartoja mažiau energijos.





3.3.7 pav.

Klausimai ir užduotys

1. Ką vadiname puslaidininkine sandūra? Kaip ji technologiškai gaunama?

2. Kas yra užtvarinis sluoksnis? Paaiškinkite, kaip jis susidaro.

3. Kaip skylinis-elektroninis puslaidininkis jungiamas prie srovės šaltinio laidžiąja kryptimi; užtvarine kryptimi? Kokie krūvininkai sukelia srovę sandūroje?

4. Ką vadiname puslaidininkiniu diodu? Kaip jis gaminamas? Kur taikomas?

5. Elektrinę schemą (3.3.8 pav.) sudaro elektroninis ir skylinis puslaidininkiai, varžas ir srovės šaltinis.

a) Palyginkite elektronų judėjimą puslaidininkiuose.

b) Palyginkite elektronų judėjimą elektroniniame puslaidininkyje ir varžè; skyliniame puslaidininkyje ir varže.

c) Nurodykite, ar grandine tekės elektros srovė, kai sukeisime šaltinio polius. Atsakymą pagrįskite.

6. Kokios rūšies puslaidininkiai sudaro skylinę-elektroninę sandūrą (3.3.9 pav.), jei yra žinoma, kad srovė diodu teka? Atsakymą pagrįskite.

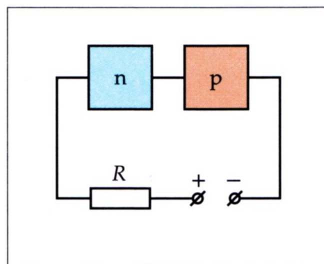
7. Nurodykite, ar galima gauti skylinę-elektroninę sandūrą, įlydžius:

a) į germanį indžio;

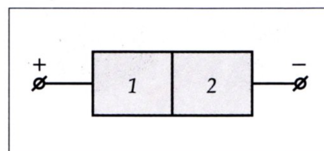
b) į indį aliuminio.

Atsakymus pagrįskite.

3.3.8 pav.



3.3.9 pav.



3.4. Tranzistorius

Pagrindinės sąvokos

Emìteris,
bãzė,
kolèktorius,
npn tranzìstorius,
pnp tranzìstorius.

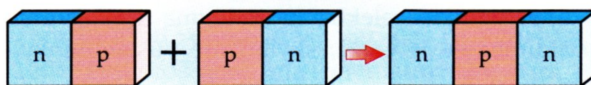
Tranzistorių samprata. Jų rūšys

Susipažinome su puslaidininkiniu diodu, kurio pagrindą sudaro viena skylinė-elektroninė sandūra. Tačiau yra puslaidininkinių prietaisų, turinčių dvi sandūras. Jie vadinami ***tranzìstoriais*** (angl. *transfer* – pernešti, *(re)sistor* – pasipriešinimas) ir naudojami elektriniams virpesiams generuoti bei stiprinti, taip pat elektrinėms grandinėms valdyti.

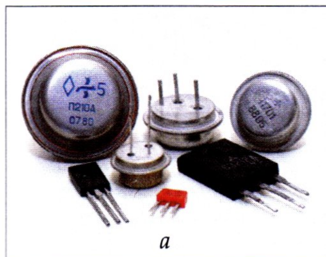
Tranzistorių 1946 m. išrado JAV fizikai Džonas Bardinas (*John Bardeen*), Volteris Bratenas (*Walter Brattain*) ir Viljamas Šoklis (*Wiliam Shockley*) „Bell Telephone" tyrimų laboratorijoje. Už tranzistoriaus išradimą šie mokslininkai 1956 m. buvo apdovanoti Nobelio premija.

Išsiaiškinkime, kaip sudarytas ir kaip veikia tranzistorius (3.4.1 pav., *a*). Sujunkime elektroninę-skylinę ir skylinę-elektroninę sandūras ir skylinio laidumo sritį padarykime bendrą (3.4.1 pav., *b*). Gausime tranzistorių, kurio vidurinis puslaidininkis yra skylinis. Toks tranzistorius vadinamas ***npn tranzìstoriumi***. Sukeitę sandūras vietomis, turėsime ***pnp tranzìstorių***, kurio vidurinė dalis yra elektroninio laidumo (3.4.1 pav., *c*).

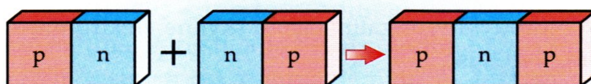
3.4.1 pav.



b



a



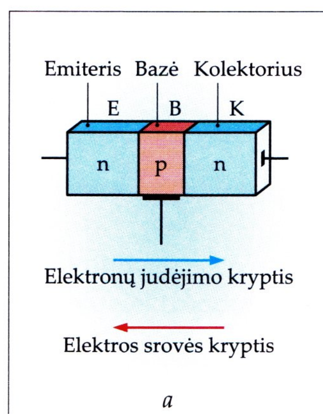
c

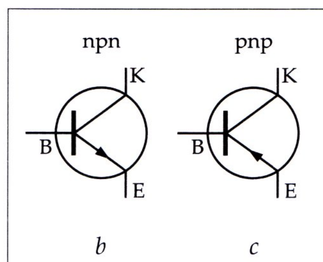
npn tranzistorius

npn tranzistorių sudaro trys skirtingo laidumo puslaidininkių sluoksniai: elektroninio, skylinio ir elektroninio (3.4.2 pav., *a*). Kiekvienas jų turi atskirą išvadą, kuriuo jungiamas į elektrinę grandinę. Pirmasis sluoksnis vadinamas ***emìteriu***. npn tranzistoriuje jis yra laisvųjų elektronų šaltinis. Emiterį sudaro elektroninis puslaidininkis, turintis daug donorinių priemaišų. Vidurinis tranzistoriaus sluoksnis vadinamas ***bazė***. Tai pats ploniausias, vos keleto mikrometrų storio, sluoksnis, gaminamas iš skylinio puslaidininkio, turinčio nedaug priemaišų. Trečiasis sluoksnis vadinamas ***kolèktoriumi***. Jį sudaro elektroninis puslaidininkis su nedideliu kiekiu priemaišos.

npn tranzistoriuje pagrindiniai krūvininkai yra laisvieji elektronai, judantys iš emiterio į kolektorių. Akivaizdu, kad elektros srovė, kurios kryptimi susitarta laikyti teigiamųjų krūvininkų judėjimo kryptį, teka iš kolektoriaus į emiterį (3.4.2 pav., *a*). Todėl, npn tranzistorių vaizduojant schemose, rodyklė nukreipiama nuo bazės emiterio link (3.4.2 pav., *b*). pnp tranzistoriuje pagrindiniai krūvininkai yra skylės. Jos juda iš emiterio į kolektorių. Schemose pnp tranzistorių žyminti rodyklė nukreipiama nuo emiterio prie bazės (3.4.2 pav., *c*).

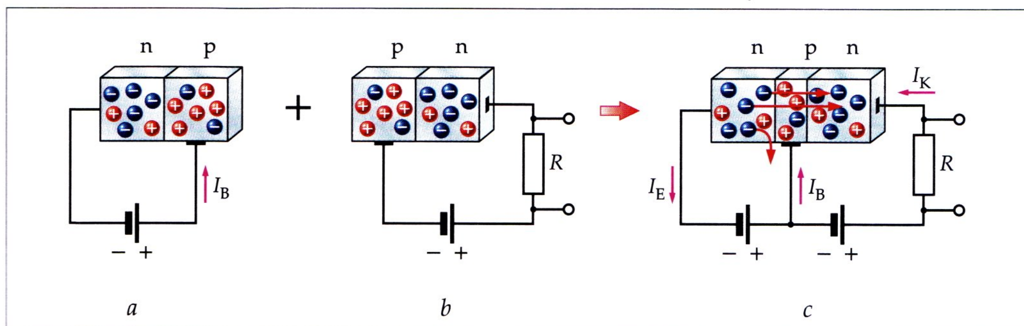
Norint paaiškinti npn tranzistoriaus veikimą, teks remtis 3.3 temoje išdėstyta medžiaga. Pirmąją tranzistoriaus sandūrą įjunkime į grandinę laidžiąja kryptimi (3.4.3 pav., *a*), o antrąją – užtvarine (3.4.3 pav., *b*). Antroji sandūra bus uždara pagrindiniams bazės krūvininkams – skylėms. Abi grandines sujungę į vieną, gauname tranzistoriaus jungimo į elektrinę grandinę schemą (3.4.3 pav., *c*).





3.4.2 pav.

3.4.3 pav.



Kokie procesai vyksta šioje grandinėje? Pagrindiniai elektroninio puslaidininkio (emiterio) krūvininkai, t. y. laisvieji elektronai, patenka į bazę. Dalis jų sukelia nestiprią srovę I_B. Kadangi bazė plona ir pagrindinių krūvininkų (skylių) joje mažai, dauguma elektronų čia beveik nerekombinuoja su skylėmis, o dėl difuzijos prasiskverbia į kolektorių. Tada juos pagauna elektrinis laukas, ir jie sukelia srovę I_K. Srovės stipris kolektoriuje apytiksliai lygus srovės stipriui emiteryje ($I_K \approx I_E$) ir kinta kartu su emiterio srove. Šią srovę valdydami kintamosios įtampos šaltiniu, įjungtu į emiterio grandinę, keičiame varžo R gnybtų įtampą. Kai varžo varža yra didelė, jo gnybtų įtampa gali kisti dešimtis tūkstančių kartų smarkiau negu įtampa emiterio grandinėje. Taigi įtampa stiprinama.

Tranzistoriai labai plačiai naudojami šiuolaikinėje technikoje ir buityje. Jie pakeitė elektronines lempas (triodus), nes yra už jas daug kartų kompaktiškesni, be to, neturi katodo, kuriam kaitinti reikalingas elektros srovės šaltinis. Tačiau tranzistorius ir triodas veikia panašiai. Kolektoriaus srovė tranzistoriuje reguliuojama keičiant bazės srovės stiprį, anodo srovė triode – keičiant tinklelio įtampą. Apie triodą daugiau sužinosite nagrinėdami elektros srovę vakuume.

Klausimai ir užduotys

1. Kodėl tranzistoriaus bazė turi būti labai plona?

2. Kokio laidumo puslaidininkiai sudaro pnp tranzistoriaus emiterį, bazę ir kolektorių?

3. 3.4.4 paveiksle pavaizduotas pnp tranzistorius, įjungtas į elektrinę grandinę. Remdamiesi schema, paaiškinkite, kaip atsiranda:

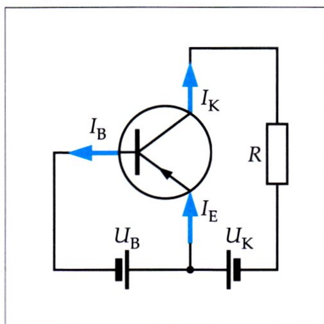
a) bazės srovė I_B; b) kolektoriaus srovė I_K.

4. Nubraižykite npn tranzistorių, įjungtą į elektrinę grandinę. Paaiškinkite, kaip jame atsiranda bazės ir kolektoriaus srovė.

5. Nubraižykite pnp ir npn tranzistorius, kurie gaunami naudojant germanio ir indžio kristalus. Braižydami vartokite tokius sutartinius ženklus: bazę žymėkite stačiakampiu, o emiterį ir kolektorių – pusskrituliu.

6. Nubraižykite schemą tokios elektrinės grandinės, į kurią įjungtas pnp tranzistorius stiprintų įtampą.

3.4.4 pav.



3.5. Elektros srovė vakuume

Vakuumas

Perskaitę temos pavadinimą, galime nustebti. Elektros srovė yra kryptingas elektringųjų dalelių judėjimas, o vãkuumas buitine prasme asocijuojasi su tuštuma. Tad kas gali tekėti vakuumu? Vis dėlto jau žinote, kad srovė vakuumu tekėti gali.

Prisiminkime, kas yra vakuumas. Retinant inde esančias dujas, jų koncentraciją galima sumažinti tiek, kad dujų molekulės suspės nulėkti nuo vienos indo sienelės iki kitos nė karto nesusidurdamos. Tokia dujų būsena ir vadinama ***vãkuumu***. Laisvųjų elektringųjų dalelių vakuume nėra.

Pagrindinės sąvokos

Vãkuumas,
termoelektròninė emìsija,
vakuumìnis diòdas,
vakuumìnio diòdo voltampèrinė charakterìstika,
vakuumìnis triòdas,
elektròninis vam̃zdis.

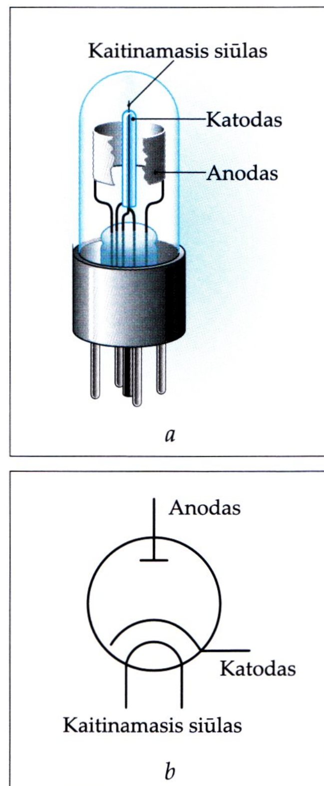
Termoelektroninė emisija

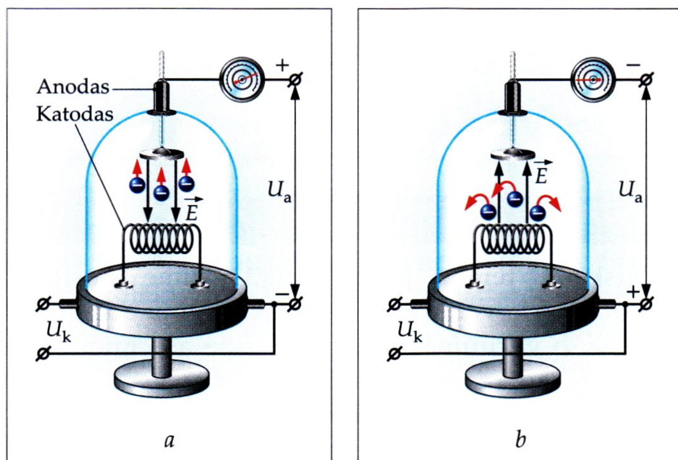
Elektringosios dalelės vakuume gali atsirasti dėl ***termoelektròninės emìsijos*** (lot. *emissio* – išspinduliavimas, išleidimas), t. y. elektronų spinduliavimo iš įkaitintų iki aukštos temperatūros kūnų. Šį reiškinį galima nagrinėti kaip elektronų garavimą iš įkaitintų metalų paviršiaus. Daugelyje medžiagų termoelektroninė emisija prasideda esant temperatūrai, kurioje pačios medžiagos dar negaruoja. Ji vyksta vakuuminiuose prietaisuose: diode, triode, elektroniniame vamzdyje. Prisiminkime, kaip veikia šie prietaisai, ir panagrinėkime juos plačiau.

Vakuuminis diodas

Jau žinote, kad ***vakuuminiù diodù*** vadinama dvielektrodė elektroninė lempa. Ją sudaro stiklinis balionas, kuriame įtaisyti du elektrodai: katòdas ir anòdas (3.5.1 pav., *a*). Katodo viduje yra kaĩtinamasis siūlas. Katodas paprastai padengiamas šarminių žemės metalų: vario, stroncio, kalcio – oksidų sluoksniu. Iš kaitinamo oksidinio katodo elektronų išlekia daugiau negu iš gryno metalo. 3.5.1 paveiksle, *b*, pavaizduota, kaip diodas žymimas elektrinėse schemose.

3.5.1 pav.



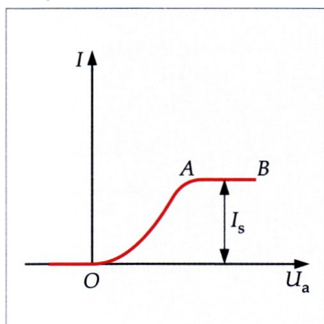


3.5.2 pav.

Dėl termoelektroninės emisijos iš katodo išgaravusius laisvuosius elektronus veikia anodo ir katodo sukurtas elektrinis laukas. Jeigu šaltinio neigiamasis polius sujungtas su įkaitintu katodu, o teigiamasis – su šaltu anodu, tai elektrinio lauko stipris nukreipiamas nuo anodo prie katodo (3.5.2 pav., *a*). Šio lauko veikiami elektronai juda anodo link. Elektrinė grandinė sujungiama ir ja ima tekėti srovė. Šaltinį prie diodo prijungus atvirkščiai, elektrinio lauko stipris nukreipiamas nuo katodo prie anodo (3.5.2 pav., *b*). Šiuo atveju elektrinis laukas grąžina elektronus atgal į katodą ir grandinė nutrūksta. Vadinasi, ***vakuuminiu diodu elektros srovė gali tekėti tik viena kryptimi***. Toks diodo laidumas vadinamas vienpusiù. Dėl šios savybės vakuuminiai diodai naudojami radioelektroniniuose prietaisuose kintamajai elektros srovei lyginti, t. y. paversti vienos krypties srove.

Vakuumìnio diòdo voltampèrinė charakterìstika, t. y. srovės stiprio priklausomybė nuo anodo įtampos (3.5.3 pav.), skiriasi nuo laidininkų (žr. 1.2.2 pav.). Ji nėra tiesìnė. Pagrindinė chrakteristikos netiesiškumo priežastis yra ta, kad prie katodo susidaro elektronų debesis, kurio neigiamasis krūvis trukdo elektronams išlėkti iš katodo. Didinant įtampą, elektros srovės stipris didėja (šį vyksmą vaizduoja grafiko dalis *OA*). Prijungus gana aukštą įtampą, visi iš katodo išlėkę elektronai pasiekia anodą. Todėl, toliau ją didinant, srovė nebestiprėja (tai atitinka grafiko dalis *AB*) – pasiekiama soties srovė I_s. Pakėlus katodo temperatūrą, srovė vėl ima stiprėti.

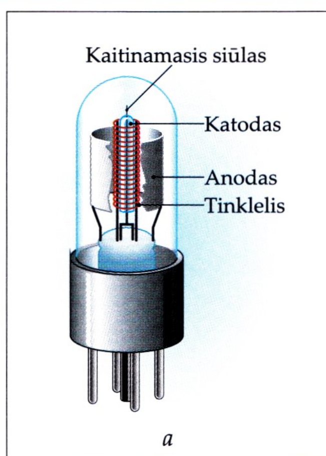
3.5.3 pav.

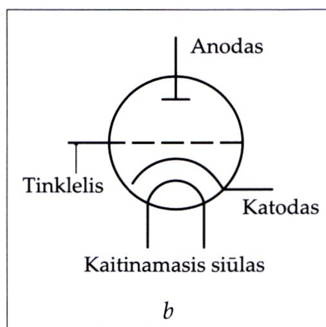


Vakuuminis triodas

Vakuuminis prietaisas, kuriame elektronų srautas valdomas elektriniu lauku, vadinamas ***vakuuminiù triodù***. Nuo diodo jis skiriasi tik tuo, kad turi trečią elektrodą, vadinamą tinkleliù. Tai – keleto vijų spiralė, apsukta aplink katodą. Vakuuminio triodo konstrukcija pavaizduota 3.5.4 paveiksle, *a*, o jo žymėjimas schemose – 3.5.4 paveiksle, *b*.

Išsiaiškinkime, kaip triodas keičia elektros srovę grandinėje. Jeigu tinklelis katodo atžvilgiu įelektrinamas teigiamai, tai jo elektrinis laukas greitina anodo link judančius elektronus ir stiprina elektros srovę (3.5.5 pav., *a*). Katodo atžvilgiu neigiamai įelektrintas tinklelis elektronus stabdo (3.5.5 pav., *b*). Vadinasi, kintant tinklelio įtampai, kinta ir srovės stipris anodo grandinėje.



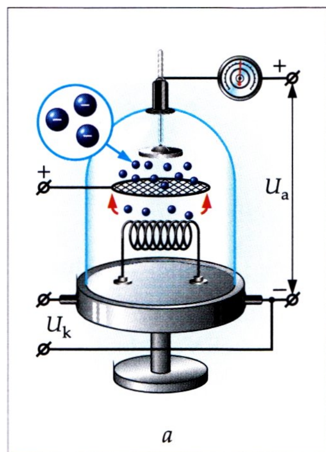


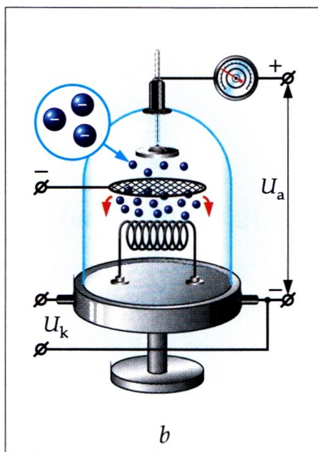
3.5.4 pav.

Elektroninis vamzdis

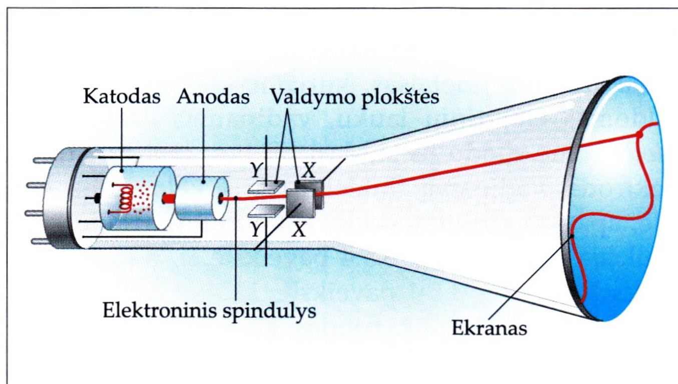
Elektròniniai vam̃zdžiai naudojami televìzorių kineskòpuose[1], kompiùterių monìtoriuose, taip pat oscilogrãfuose, t. y. prietaisuose, kuriais tiriami elektrinėse grandinėse greitai kintantys procesai. Kaip veikia elektroninis vamzdis, galime paaiškinti remdamiesi vakuuminio diodo savybėmis. Vakuuminio diodo anode padarius skylę, dalis katodo išspinduliuotų elektronų išlekia pro ją ir už anodo sudaro siaurą pluoštą, vadinamą elektroniniu spinduliu (3.5.6 pav.). Patekęs ant švỹtalu padengto ekrano, jis sukelia švy-

3.5.5 pav.





[1] Šiuo metu elektroninių vamzdžių ekranus vis dažniau keičia skystųjų kristalų ekranai (žr. „Fiziką 11“, išplėstinio kurso antrąją knygą, p. 151).



3.5.6 pav.

tėjimą. Pakeliui į ekraną elektronų pluoštas nuosekliai pereina tarp dviejų valdymo plokščių porų (*X* ir *Y*). Jeigu elektrinio lauko tarp plokščių nėra, pluoštas sklinda tiesiai nenukrypdamas ir šviečiantį tašką suformuoja ekrano centre. Kai prie įtampos šaltinio prijungiamos vertikalios plokštės (*X*), pluoštas nukrypsta horizontalia kryptimi, kai horizontalios (*Y*) – vertikalia kryptimi. Kartais elektronų pluoštas valdomas magnetiniais laukais, kuriuos sukuria ant vamzdžio užmautos ritės. Kadangi elektronų masė labai maža, jie greitai reaguoja į magnetinio ar elektrinio lauko pokytį.

Prisimindami elektroninio vamzdžio veikimą, atskleidėme kai kurias elektronų pluošto savybes: jį kreipia elektrinis arba magnetinis laukas; patekęs ant švytalu padengto paviršiaus, pluoštas sukelia jo švytėjimą. Elektronų pluoštas turi ir kitų savybių. Stabdant krintančius į medžiagą greituosius elektronus, atsiranda rentgeno spinduliai (ši savybė taikoma rentgeno vamzdžiuose). Patekęs ant kūno, elektronų pluoštas jį įkaitina.

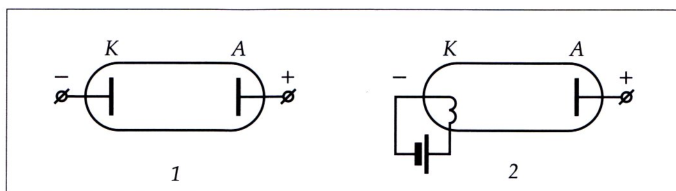
Klausimai ir užduotys

1. Ką vadiname vakuumu?

2. Apibrėžkite termoelektroninę emisiją. Kokiuose prietaisuose ji vyksta?

3. Kokios elektringosios dalelės sukelia elektros srovę vakuume?

4. Paaiškinkite vakuuminio diodo sandarą ir veikimą.



3.5.7 pav.

5. Išvardykite vakuuminio triodo sudedamąsias dalis, paaiškinkite jo veikimą.

6. Apibūdinkite elektroninio vamzdžio sandarą.

7. Kas ir kaip valdo elektronų pluoštą elektroniniame vamzdyje?

8. Kokios savybės būdingos elektronų pluoštui? Kur jos taikomos?

9. Kaip galima sustiprinti vakuuminiu diodu tekančią soties srovę? Remdamiesi 3.5.3 paveikslu, atsakymą papildykite brėžiniu.

10. 3.5.7 paveiksle pavaizduoti du vamzdžiai, iš kurių išsiurbtas oras. Įtampa tarp elektrodų abiem atvejais vienoda. Kuriuo vamzdžiu tekės elektros srovė? Atsakymą pagrįskite.

11. Įtampa tarp anodo ir katodo lygi 100 V. Kokį darbą per 1 h atlieka elektrinis laukas, perkeldamas elektronus nuo katodo prie anodo, jei kas sekundę iš katodo išgaruoja 10^{16} elektronų? (576 J)

12. Kas sekundę iš diodo katodo išlekia $5 \cdot 10^{16}$ elektronų. Kokio didžiausio stiprio srovė gali tekėti diodo anodo grandine? (8 mA)

13*. Tirdamas diodo voltamperinę charakteristiką, Domantas surašė įtampos ir srovės stiprio vertes į lentelę:

U_a, V	0	20	40	60	80
I_a, mA	0	5	15	20	20

a) Nubraižykite diodo voltamperinę charakteristiką.
b) Nustatykite soties srovės stiprį.
c) Apskaičiuokite diodo varžą, kai anodo įtampa lygi 20 V ir 60 V.

3.6. Elektros srovė skysčiuose

Pagrindinės sąvokos

Elektrolìtai,
elektrolìtinė disociãcija,
rekombinãcija,
jòninis laidùmas,
elektrolìzė,
elektrochèminis ekvivaleñtas.

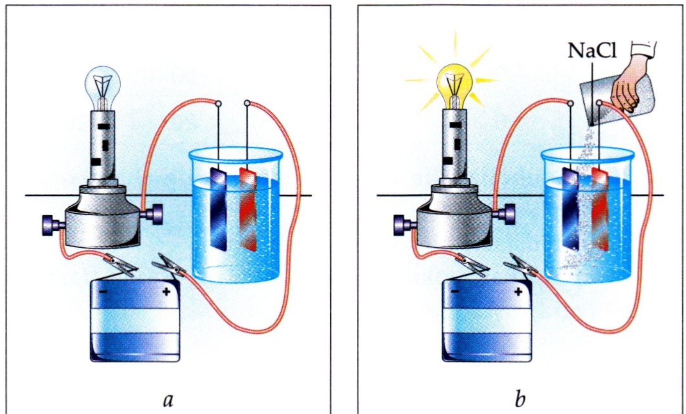
Elektrolitai

Pagal laidumą elektros srovei visos medžiagos skirstomos į laidininkus, dielektrikus ir puslaidininkius. Skysčiai, kaip ir kietieji kūnai, gali būti laidininkai, dielektrikai arba puslaidininkiai. Pavyzdžiui, distiliuotas vanduo yra dielektrikas. Įmerkus į jį elektrodus, srovė grandine neteka (3.6.1 pav., *a*). Įberkime į vandenį žiupsnelį valgomosios druskos, ir grandine pradės tekėti srovė – elektros lemputė įsižiebs (3.6.1 pav., *b*). Indas su druskos tirpalu yra sudedamoji grandinės dalis. Vadinasi, elektros srovė teka druskos tirpalu. Srovė gali tekėti ne tik druskų, bet ir rūgščių bei šarmų tirpalais ir lydalais. Tokios medžiagos vadinamos elektrolitais. Taigi ***elektrolìtais vadinamos medžiagos, kurių vandeniniais tirpalais arba lydalais gali tekėti elektros srovė***. Norėdami išsiaiškinti, kaip atsiranda elektros srovė elektrolituose, pirma aptarkime elektrolitinės disociacijos reiškinį.

Elektrolitinė disociacija

Elektros srovė yra kryptingas elektringųjų dalelių judėjimas. Elektrolitų vandeniniuose tirpaluose arba lydaluose elektros krūvį perneša teigiamieji ir neigiamieji jonai. Kaip jie atsiranda? Nagrinėtame pa-

3.6.1 pav.



vyzdyje buvo tirpinama valgomoji druska NaCl. Ji yra kristalinė medžiaga, kurios gardelės mazguose išsidėstę teigiamieji (Na^+) ir neigiamieji (Cl^-) jonai. Valgomosios druskos jonai ir polinės vandens molekulės sąveikauja elektrostatinėmis (Kulono) jėgomis (3.6.2 pav.). Nugalėdamos jonų Na^+ ir Cl^- tarpusavio sąveikos jėgas, vandens molekulės atplėšia nuo NaCl kristalo jonus. Taip tirpale atsiranda laisvųjų elektringųjų dalelių – teigiamųjų ir neigiamųjų jonų, kuriuos supa polinės vandens molekulės (hidratuoti jonai). Aptartas reiškinys vadinamas elektrolitine disociacija. Ją galima nusakyti chemine lygtimi:

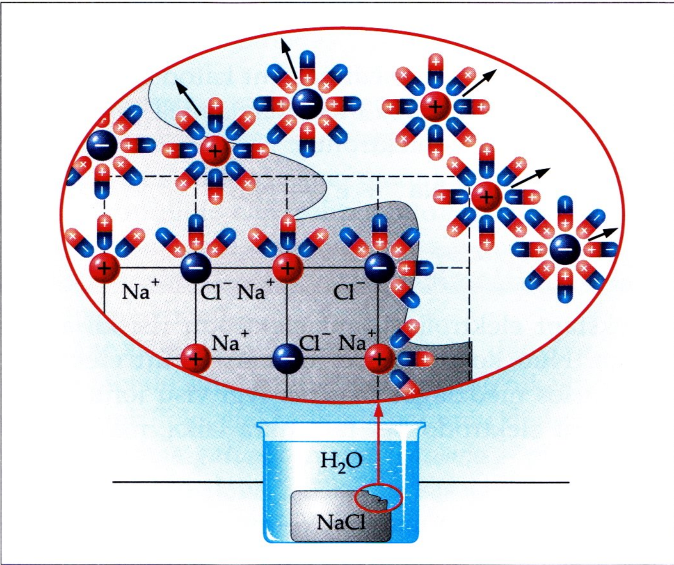


$$NaCl \rightleftarrows Na^+ + Cl^-.$$

Taigi ***elektrolìtinė disociãcija yra elektrolito molekulių (arba joninių junginių) skilimas į jonus joms tirpstant arba lydantis.***

Elektrolitinės disociacijos reiškiniui turi įtakos molekulių šiluminis judėjimas. Pakaitinus elektrolitą, padidėja molekulių šiluminio judėjimo vidutinė kinetinė energija, o kartu ir jonų porų, susidariusių per vienetinį laiką, skaičius. Kylant temperatūrai, jonų koncentracija didėja, todėl elektrolito elektrinė varža mažėja.

Susitikę priešingų ženklų jonai gali susijungti ir sudaryti neutralias molekules. Šis procesas vadinamas jonų ***rekombinãcija***. Ji priklauso nuo tirpiklio dielekt-

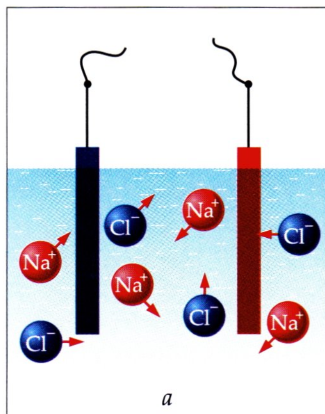


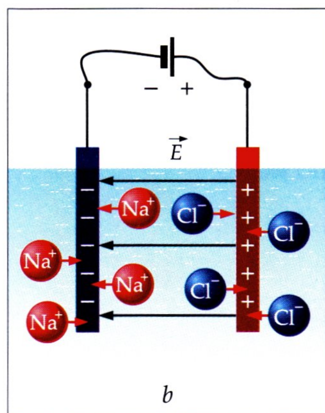
3.6.2 pav.

rinės skvarbos. Pavyzdžiui, vandens dielektrinė skvarba lygi 81, todėl jonų sąveikos jėga vandenyje sumažėja 81 kartą.

Teigiamieji ir neigiamieji jonai gali susidaryti ir elektrolitus lydant. Antai žemos temperatūros sąlygomis stiklas nelaidus elektros srovei, nors jame yra natrio jonų. Pakaitintas iki 300–400 °C, jis virsta laidininku – jonai gali laisvai judėti.

Elektrolizė

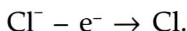




3.6.3 pav.

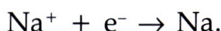
Kol nėra išorinio elektrinio lauko, atsiradę elektrolito jonai ir molekulės juda netvarkingai (3.6.3 pav., *a*). Prijungus srovės šaltinį (3.6.3 pav., *b*), jonai ima judėti kryptingai: teigiamieji – katodo link, neigiamieji – anodo link[1]. Taip elektrolite atsiranda elektros srovė. Kadangi krūvį elektrolitų vandeniniais tirpalais arba lydalais perneša jonai, tai laidumas vadinamas ***jòniniu laidumù***. Skysčiams ir skystiesiems metalams gali būti būdingas ir elektroninis laidumas.

Joninio laidumo atveju srovės tekėjimas susijęs su medžiagos pernešimu. Tekant srovei, ant elektrodų nusėda medžiaga. ***Medžiagos išsiskyrimas ant elektrodų tekant srovei elektrolitu vadinamas elektrolizè.*** Apie ją kalbėjote per chemijos pamokas. Neigiamųjų jonų nusėdimas ant anodo chemijoje vadinamas oksidãcijos reãkcija. Jai vykstant, neigiamieji jonai atiduoda perteklinius elektronus:



$$Cl^- - e^- \rightarrow Cl.$$

Teigiamųjų jonų nusėdimas ant katodo vadinamas redùkcijos reãkcija. Jos metu teigiamieji jonai prisijungia trūkstamus elektronus:



$$Na^+ + e^- \rightarrow Na.$$

Elektrolizės dėsnis

Vykstant elektrolizei, ant elektrodų išsiskiria medžiaga. Nuo ko priklauso jos masė? Ant elektrodų nusėdusios medžiagos masė m lygi visų jonų, nusėdusių ant elektrodo per tam tikrą laiką, masei:

$$m = m_j N_j; \qquad (3.4)$$

čia m_j – vieno jono masė, o N_j – nusėdusių jonų skaičius.

[1] Šiuo atveju elektrolizė vyksta NaCl lydale.

Jonų perneštas elektros krūvis lygus vieno jono krūvio ir ant elektrodo nusėdusių jonų skaičiaus sandaugai:

$$q = q_j N_j. \qquad (3.5)$$

Vieną lygtį padaliję panariui iš kitos, gauname:

$$\frac{m}{q} = \frac{m_j}{q_j} = k. \qquad (3.6)$$

Jono masės ir krūvio santykis k vadinamas medžiagos ***elektrochèminiu ekvivalentù.***

Iš 3.6 formulės matyti, kad ant elektrodo nusėdusios medžiagos masė yra tiesiogiai proporcinga elektrolito tirpalu pratekėjusiam elektros krūviui:

$$m = kq. \qquad (3.7)$$

Ši teoriškai gauta priklausomybė dar XIX a. buvo pagrįsta bandymais. 1833 m. ją nustatė anglų fizikas ir chemikas Maiklas Faradėjus (*Michael Faraday*, 1791–1867). Jis išmatavo katodo masę prieš bandymą ir po jo, elektros srovės stiprį ir jos tekėjimo trukmę. Remdamasis bandymo rezultatais, Faradėjus suformulavo dėsnį, dabar vadinamą elektrolizės dėsniu. Jis teigia, kad ***ant elektrodo nusėdusios medžiagos masė (m) yra tiesiogiai proporcinga srovės stipriui (I) ir jos tekėjimo trukmei (Δt):***

$$m = kI\Delta t. \qquad (3.8)$$

Faradėjus pirmasis pradėjo vartoti terminus „elektrodas“, „katodas“, „anodas“, „elektrolizė“[1].

Elektrolizės taikymas

Elektrolizės reiškinys šiuo metu taikomas labai plačiai. Metalurgijoje elektrolizės būdu iš druskų ir oksidų išskiriama daugelis metalų, kaip antai: varis, nikelis, aliuminis. Taip pavyksta gauti mažai priemaišų turinčių medžiagų.

Taikant elektrolizę, metalo gaminiai dengiami plonu kitų metalų sluoksniu: sidabruojami, nikeliuojami, auksuojami. Toks elektrolitinis gaminių dengimo būdas vadinamas ***galvanostègija*** (*galvano* – pirmoji sudurtinio žodžio dalis, reiškianti sąsają su nuolatine elektros srove, gr. *stegō* – dengiu). Galvanostegija gaminiai puošiami, apsaugomi nuo oksidacijos.

[1] Kai kuriuose fizikos istorijos šaltiniuose nurodoma, kad elektrolizės teoriją pirmasis sukūrė ir 1805 m. paskelbė Teodoras fon Grotusas (*Theodor von Grotthuss*, 1785–1822). Šis žinomas fizikinės chemijos pradininkas nuo 1808 m. gyveno ir dirbo Pakrúojo rajone (Gedùčiuose).

Elektrolizės būdu ant gaminio galima nusodinti storą metalo sluoksnį, paskui jį atskirti išlaikant formą. Toks įvairių gaminių tikslių kopijų gavimas vadinamas ***galvanoplãstika***. Ji taikoma skulptūroms, bareljefams, meno kūrinių kopijoms gaminti.

Elektrolizės reiškiniu pagrįstas akumuliatorių veikimas.

Klausimai ir užduotys

1. Kokios elektringosios dalelės sukelia elektros srovę skysčiuose? Kaip jos atsiranda?

2. Kas turi įtakos elektrolitinės disociacijos reiškiniui?

3. Kai elektros srovė teka elektrolito tirpalu, medžiaga pernešama, o kai metaliniu laidininku – ne. Pagrįskite šį teiginį.

4. Palyginkite elektros srovę puslaidininkiuose ir elektrolituose. Nurodykite panašumus ir skirtumus.

5. Kodėl, didėjant temperatūrai, elektrolitų varža mažėja? Atsakymą pagrįskite.

6. Kodėl koncentruota sieros rūgštis laikoma geležiniuose induose, o skiesta – stikliniuose?

7. Tuščiavidurį metalinį ritinį reikia padengti nikelio sluoksniu. Kaip reikia prijungti elektrodus, kad nikeliu būtų galima padengti tiek išorinį, tiek vidinį ritinio paviršių? Nubraižykite brėžinį.

8. Kodėl apšvietimo tinklo laidai turi būti gerai izoliuoti nuo drėgmės?

9. Į vario sulfato tirpalo pripiltą elektrolizės vonią iki pusės panardinami du angliniai elektrodai. Tirpalu teka elektros srovė. Kaip pakis per trumpą laikotarpį ant katodo nusėdusio vario masė, kai:

a) anglinį katodą pakeisime variniu;

b) anglinį anodą pakeisime tokios pat formos ir tūrio variniu;

c) padidinsime elektrodų įtampą;

d) įpilsime tos pačios koncentracijos tirpalo;

e) padidinsime tirpalo koncentraciją;

f) suartinsime elektrodus;

g) sumažinsime į tirpalą panardintą anodo dalį;

h) sumažinsime panardintą katodo dalį;

i) pašildysime elektrolito tirpalą?

10. Elektrolito tirpalu tekant 2 A stiprio elektros srovei, gaminys pasidengia nikelio sluoksniu, kurio masė 1,8 g. Kiek laiko trunka nikeliavimas? (50 min)

11. 3.6.4 paveiksle pavaizduota elektrolito tirpalo pripildyta vonia ir prie jos lygiagrečiai prijungta elektros lemputė.

a) Nurodykite, kokios elektringosios dalelės sukelia elektros srovę lemputėje.

b) Nurodykite, kokios elektringosios dalelės sukelia elektros srovę elektrolizės vonioje.

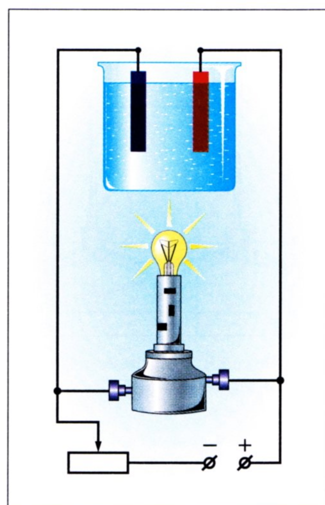
c) Palyginkite srovės tekėjimo lempute ir elektrolizės vonia trukmę. Atsakymą pagrįskite.

12. Elektrolizės būdu išskiriant gryną aliuminį, naudojamos vonios, kurioms reikalinga 5 V įtampa ir 40 kA stiprio elektros srovė. Apskaičiuokite:

a) per kiek laiko gaunama 1 t aliuminio; (per 3,1 paros)

b) kiek energijos tam sunaudojama. (15 MWh)

13. Kiek elektros energijos reikia sunaudoti, norint gauti 2,5 l vandenilio, kurio temperatūra 25 °C, o slėgis 100 kPa? Yra žinoma, kad elektrolizė vyksta, kai įtampa lygi 5 V, o įrenginio naudingumo koeficientas lygus 75 %. (0,13 MJ)



3.6.4 pav.

3.7. Elektros srovė dujose

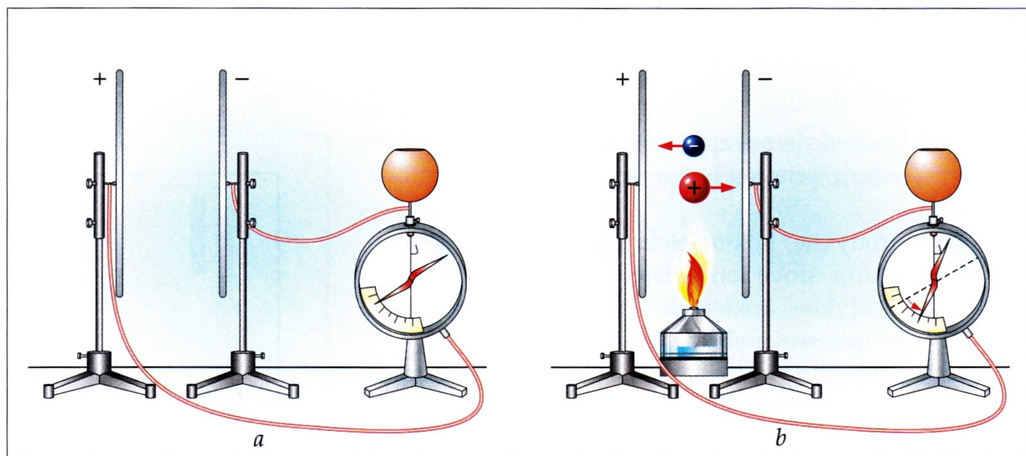
Elektros išlydis dujose

Pagrindinės sąvokos

Elèktros ìšlydis dùjose, dùjų jonizãcija, nesaváiminis ìšlydis, saváiminis ìšlydis, smū̃ginė jonizãcija.

Normaliomis sąlygomis dujos yra dielektrikas. Tuo galėjote įsitikinti atlikdami elektros skyriaus laboratorinius darbus. Išjungus jungiklį, grandinėje susidaro oro tarpas ir elektros srovė iš karto nustoja tekėti. Tačiau, pakaitinus orą, ji vėl atsiranda. ***Elektros srovės tekėjimas dujomis vadinamas elèktros ìšlydžiu.***

Elektros išlydį dujose galima stebėti atliekant nesudėtingą bandymą. Tereikia kondensatorių prijungti prie elektrometro ir įelektrinti (3.7.1 pav., *a*). Pakaitinus orą tarp kondensatoriaus plokštelių, elektromet-



3.7.1 pav.

ras išsielektrina (3.7.1 pav., *b*). Vadinasi, kondensatorius išsikrauna.

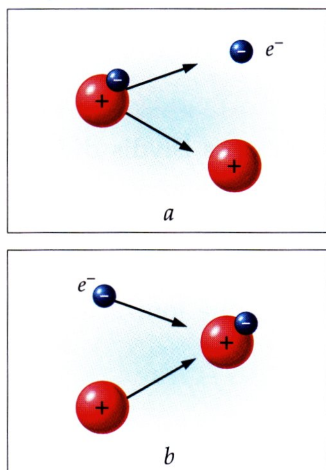
Taigi įkaitintos dujos yra laidininkas ir jomis gali tekėti elektros srovė. Kaip dujose atsiranda elektringųjų dalelių?

Dujų jonizacija, dujų laidumas

Įprastinėmis sąlygomis dujos susideda iš neutralių atomų arba molekulių. Kai dujos pakaitinamos arba apšviečiamos regimąja šviesa, rentgeno arba ultravioletiniais spinduliais, jų atomai arba molekulės ima judėti greičiau, o kai kurie įgyja tokį greitį, kad susidūrę skyla į teigiamuosius jonus ir laisvuosius elektronus (3.7.2 pav., *a*). Laisvieji elektronai gali prisijungti prie neutralių atomų, sudarydami neigiamuosius jonus. ***Dujų atomų ir molekulių skilimas į teigiamuosius jonus ir elektronus vadinamas dùjų jonizãcija.*** Išorinis poveikis (kaitinimas, švitinimas), sukeliantis jonizaciją, vadinamas ***išoriniù jonizãtoriumi***. Dujų laidumas yra elektroninis (kaip metalų) ir joninis (kaip elektrolitų vandeninių tirpalų arba lydalų).

Dujose, kaip ir elektrolituose, taip pat vyksta elektringųjų dalelių rekombinacija. Elektronas ir teigiamasis jonas susitikę gali vėl sudaryti neutralų atomą (3.7.2 pav., *b*). Veikiant išoriniam jonizatoriui, nusistovi dinaminė pusiausvyra: susidariusių elektringųjų dalelių porų skaičius lygus rekombinuojančių porų skaičiui.

3.7.2 pav.

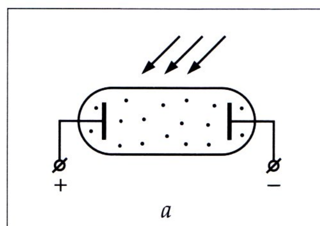


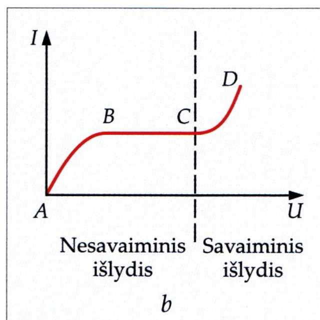
Nesavaiminis išlydis

Elektros išlydis, kuris vyksta veikiant išoriniam jonizatoriui, vadinamas nesaváiminiu. Jam stebėti naudojamas stiklinis vamzdelis, kuriame įmontuoti du elektrodai. Vienas iš jų prijungiamas prie srovės šaltinio teigiamojo poliaus, kitas – prie neigiamojo (3.7.3 pav., *a*). Dėl išorinio jonizatoriaus poveikio dujose atsiranda elektringųjų dalelių: teigiamųjų bei neigiamųjų jonų ir elektronų. Elektrinis laukas verčia elektronus ir neigiamuosius jonus judėti prie teigiamojo elektrodo, o teigiamuosius jonus – prie neigiamojo elektrodo. Taigi vamzdeliu ima tekėti srovė, dujose vyksta elektros išlydis.

3.7.3 paveiksle, *b*, pavaizduota išlydį apibūdinanti voltamperinė charakteristika.

Didėjant įtampai tarp vamzdelio elektrodų, kas sekundę juos pasiekia vis daugiau elektringųjų dalelių, vadinasi, elektros srovė grandinėje stiprėja (šį vyksmą vaizduoja grafiko dalis *AB*). Kai visos per sekundę atsiradusios elektringosios dalelės pasiekia elektrodus, srovė nustoja stiprėti, nors įtampa ir didinama (3.7.3 paveiksle tai atitinka grafiko dalis *BC*). Ši srovė vadinama soties srove.





3.7.3 pav.

Savaiminis išlydis

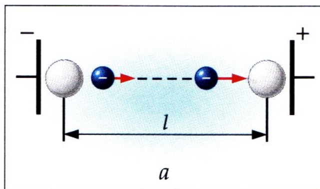
Toliau didinant įtampą tarp vamzdelio elektrodų, nuo tam tikros vertės srovės stipris vėl ima didėti (grafiko dalis *CD*). Jei tuo momentu išorinį jonizatorių išjungtume, išlydis nenutrūktų – srovė ir toliau tekėtų dujomis. ***Elektros išlydis, kuris vyksta neveikiant išoriniam jonizatoriui, vadinamas saváiminiu.***

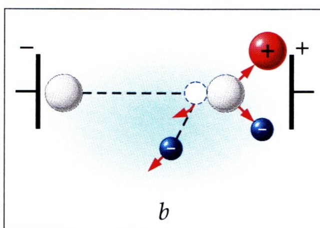
Iš kur savaiminio išlydžio metu dujose atsiranda elektringųjų dalelių? Veikiamas elektrinio lauko, laisvasis elektronas juda greitėdamas. Jo įgyta kinetinė energija E_k lygi elektrinio lauko darbui:

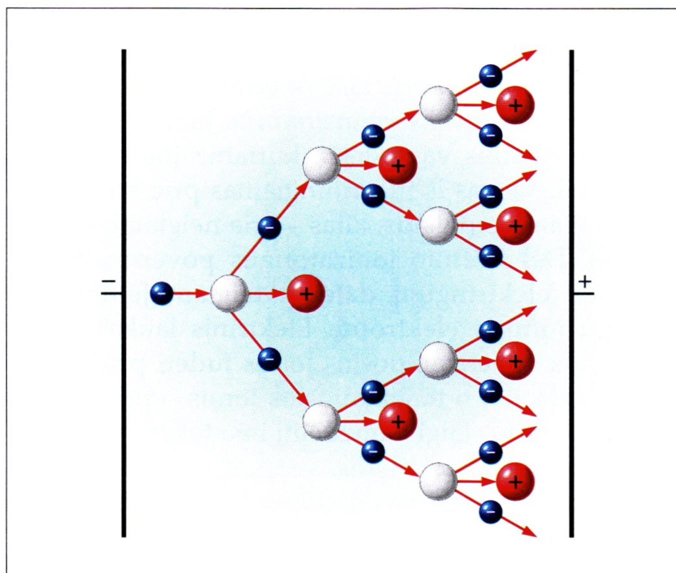
$$E_k = Fl = eEl; \qquad (3.9)$$

čia e – elektrono krūvis, E – elektrinio lauko stipris, l – elektrono laisvojo kelio ilgis (3.7.4 pav., *a*). Jeigu elektrinio lauko stipris pakankamai didelis, laisvai lėkdamas elektronas įgyja tiek kinetinės energijos, kad, susidūręs su atomu (arba molekule), jį jonizuoja (3.7.4 pav., *b*). Tai įvyksta tada, kai elektrono kinetinė

3.7.4 pav.







3.7.5 pav.

energija yra ne mažesnė už darbą, kurį reikia atlikti jonizuojant neutralų atomą:

$$\frac{mv^2}{2} \geq A_i. \qquad (3.10)$$

Atomą jonizavęs elektronas ir jonizacijos metu atsiradęs elektronas, veikiami elektrinio lauko, toliau juda anodo link. Pakeliui jie įgyja energijos ir jonizuoja kitus sutiktus atomus (3.7.5 pav.). Krūvininkų skaičius ima sparčiai didėti – susidaro elektronų griūtis. Aprašytas procesas vadinamas ***smūginė jonizacija***.

Vykstant smūginei jonizacijai, dujose atsiranda ir teigiamųjų jonų. Veikiami elektrinio lauko, jie juda katodo link ir, pasiekę jį, gali išmušti iš jo naujus elektronus. Be to, elektronai gali išlėkti iš katodo ir dėl išlydžio metu atsiradusios šviesos. Visi šie iš katodo išmušti elektronai taip pat gali sukelti smūginę jonizaciją, todėl procesas vyksta nenutrūkstamai.

Elektros išlydžiui turi įtakos dujų būsena, elektrodų pobūdis, išsidėstymas bei įtampa. Dėl to savaiminis išlydis gali būti įvairus: kibirkštinis, rusenantysis, lankinis, vainikinis. Savaiminis išlydis plačiai taikomas buityje. Juo pagrįstas dienos šviesos ir kvarco lempų, reklaminių vamzdelių veikimas. Jis naudojamas metalinėms konstrukcijoms pjaustyti, virinti, iš kietų medžiagų pagamintoms detalėms apdirbti. Daugiau apie jo taikymą sužinosite skaitydami 3.8 temą.

Klausimai ir užduotys ??

1. Kokios elektringosios dalelės sukelia elektros srovę dujose?

2. Kuo skiriasi savaiminis ir nesavaiminis išlydis?

3. Kokiomis sąlygomis vyksta savaiminis išlydis? Pateikite jo pavyzdžių.

4. Kuo dujų jonizacija skiriasi nuo elektrolitinės disociacijos?

5. Kodėl įprastinėmis sąlygomis dujos yra elektros izoliatoriai?

6. Paaiškinkite, kodėl reklaminiai išlydžio vamzdeliai įsižiebia tik praėjus tam tikram laikui, nors įtampa yra pakankama.

7. Deguonies molekulės jonizacijos energija lygi $2{,}16 \cdot 10^{-18}$ J. Kokiu mažiausiu greičiu turi lėkti elektronas, kad galėtų jonizuoti šią molekulę?

($2{,}2 \cdot 10^{6}$ m/s)

8. Dujas apšvietus γ spinduliais, jose kas sekundę atsiranda $5 \cdot 10^{18}$ jonų porų. Kiekvieno jono krūvis $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C. Apskaičiuokite soties srovės stiprį dujose.

(0,8 A)

9*. Plokščiasis kondensatorius prijungtas prie 6 kV įtampos šaltinio. Oro smūginė jonizacija prasideda, kai elektrinio lauko stipris įgyja vertę, lygią 3 MV/m. Kokiu atstumu viena nuo kitos turi būti kondensatoriaus plokštelės, kad jis būtų pramuštas? (2 mm)

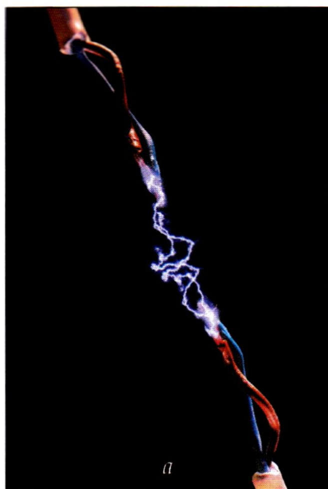
10*. Oro molekulių jonizacijos energija lygi 14 eV. Apskaičiuokite elektrono vidutinį laisvąjį kelią ore. Normaliomis sąlygomis kibirkštinis išlydis ore kyla tada, kai elektrinio lauko stipris lygus 3 MV/m. ($\approx 4{,}7$ μm)

11. Šiaurės pašvaistė – gamtos reiškinys, susijęs su elektros srovės tekėjimu dujomis. Remdamiesi žiniomis iš šios temos, atsakykite į klausimus:

a) kodėl šiaurės pašvaistę galima matyti tiktai viršutiniuose Žemės atmosferos sluoksniuose;

b) kaip šiaurės pašvaistė susijusi su Saulės aktyvumu?

3.8. Elektros išlydis gamtoje ir technikoje





3.8.1 pav.

3.8.2 pav.



Elektros išlydis stebimas gamtoje ir technikoje. Minėjome, kad jis skirstomas į tokias rūšis: kibirkštinį, vainikinį, rusenantįjį, lankinį. Aptarkime kiekvieną jų.

Kibirkštìnis ìšlydis atsiranda, kai atmosferos slėgis yra normalus ir elektrinio lauko stipris siekia maždaug $3 \cdot 10^6$ V/m. Šį išlydį matome kaip ryškiai švytintį siaurą įvairiai išsilanksčiusį kanalą – kibirkštį (3.8.1 pav., *a*). Kanalo varža ganėtinai maža, todėl, prasidėjus išlydžiui, įtampa, o kartu ir lauko stipris dažniausiai greitai mažėja ir išlydis nutrūksta. Kibirkštinį išlydį lydi būdingas traškesys, pavyzdžiui, jis girdimas kibirkščiuojant jungiklių ar relių kontaktams.

Kibirkštinio išlydžio gamtoje pavyzdys – žaibas (3.8.1 pav., *b*). Srovės stipris žaibo kanale siekia apie 500 kA, o įtampa – apie 3 MV. Trunka jis maždaug 1 ms. Kartais tuo pačiu kanalu vienas paskui kitą įvyksta keli išlydžiai, kurių bendra trukmė gali siekti 1,5 s. Žaibas padaro didelių nuostolių. Jis gali sukelti gaisrą, užmušti gyvulį ar žmogų. Elektros išlydis (žaibas) turi ir magnetinį poveikį, dėl to gali sugadinti elektros instaliaciją, buitinius elektrinius prietaisus.

Pastatams apsaugoti nuo žaibo įrengiami žaibolaidžiai (3.8.2 pav.). Ant namo šlaitinio stogo kraigo, prie kiekvieno nemetalinio kamino ar kitos išsikišusios namo dalies pritvirtinami nedideli strypai, kurie specialia viela sujungiami su įkaltu į žemę strypu.

Virš Žemės rutulio kas sekundę įvyksta apie 100 kibirkštinių išlydžių (žaibų). Dauguma jų kyla tarp debesies ir Žemės. Bet yra ir susidarančių tarp skirtingai įsielektrinusių debesų arba to paties debesies dalių. Visi šie žaibai vadinami linijìniais. Be linijinių, būna ir kamuolìnių žaibų (3.8.3 pav.). Jų prigimtis kol kas dar nežinoma. Kamuolinį žaibą sudaro švytintys 10–20 cm skersmens ugnies kamuoliukai, atsiradę dažniausiai po linijinio žaibo. Jie išsilaiko apie 1–2 min, juda be garso ir pro plyšius gali patekti į

patalpas, kai kada sprogsta, būna mėlynos, baltos arba oranžinės spalvos.

Vis dėlto kibirkštinis išlydis gali būti ir naudingas. Elektros kibirkštimi įvairiose izoliacinėse medžiagose pramušamos skylės, itin kietuose metaluose gręžiamos sudėtingos angos, uždegamas benzino ir oro mišinys vidaus degimo varikliuose.

Vainìkinis ìšlydis matomas prie didelį elektros krūvį turinčio laidininko smaigalių, aplink elektros perdavimo linijų laidus, esant normaliam atmosferos slėgiui (10^5 Pa). Švytinti dalis primena vainiką, dėl to jis ir vadinamas vainikiniu. Šį išlydį sukelia nepaprastai stiprus (apie $3 \cdot 10^6$ V/m) nevienalytis elektrinis laukas, esantis prie įelektrintos smailės. Kai laukas toks stiprus, smūginei jonizacijai vykti pakanka ir atmosferos slėgio. Tolstant nuo laidininko, elektrinis laukas staigiai mažėja, todėl dujos jonizuojasi ir ima švytėti ribotoje erdvės dalyje – tik arti išsielektrinančios smailės.

Gamtoje pasitaikantis šios rūšies išlydis vadinamas šv. Elmo ugnimis. Jos kartais matomos prie medžių viršūnių, bažnyčių bokštų, laivų stiebų, žaibolaidžių ir t. t. Konstruojant aukštosios įtampos įrenginius, pavyzdžiui, tiesiant aukštosios įtampos linijas, į tai reikia atsižvelgti (vengti smailumų ir naudoti storus laidus, kad energijos nuostoliai būtų kuo mažesni).

Rusẽnantysis ìšlydis vyksta mažo slėgio sąlygomis. Jam sukelti pakanka kelių šimtų voltų (o kartais ir mažesnės) įtampos tarp elektrodų. Rusenantysis išlydis taikomas įvairiomis formomis išlankstytuose reklaminiuose vamzdeliuose. Pripildyti neono, jie skleidžia raudoną šviesą, argono – melsvai žalsvą, helio – geltoną ir pan. (3.8.4 pav.).

Stebint šį išlydį, tarp katodo ir anodo galima pamatyti šviesias ir tamsias sritis, kurių matmenys ir forma priklauso nuo slėgio ir elektrinio lauko stiprio. Prie katodo susidaro tamsi sritis, už jos – šviesi. Tiriant potencialo pasiskirstymą, išsiaiškinta, kad didžioji jo dalis tenka tamsiajai sričiai (3.8.5 pav.). Taigi staigus potencialo kitimas prie katodo yra būdingas rusenančiojo išlydžio požymis. Išlydžio metu vyksta antrinė elektronų emisija iš katodo, palaikanti išlydį.

Rusenantysis išlydis taikomas dienos šviesos lempose (3.8.6 pav.), kurios dažniausiai naudojamos patalpoms apšviesti. Jos vartoja mažiau energijos negu



3.8.3 pav.

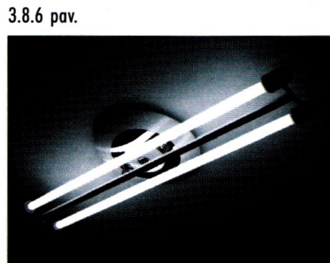


3.8.4 pav.



3.8.5 pav.

3.8.6 pav.

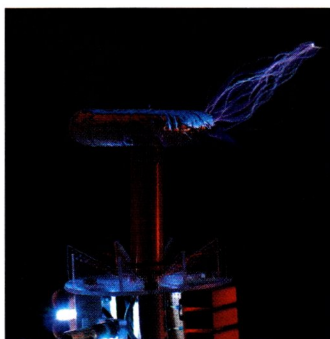


kaitinamosios lempos. Dienos šviesos lempą sudaro stiklinis vamzdelis, iš kurio išsiurbtas oras ir kuris pripildytas gyvsidabrio garų. Vamzdelio vidinis paviršius padengtas švỹtalu, t. y. medžiaga, kuri, veikiama ultravioletinių spindulių, skleidžia regimąją šviesą. Šios šviesos atspalvis priklauso nuo švytalo sudėties.

Daugelis žmonių junta neigiamą dienos šviesos lempų poveikį, mat jos skleidžia tokios pat rūšies spindulius kaip ir katodiniai kompiuterių monitoriai. Dienos šviesos lempos kenkia akims. Per sekundę jos sublyksi 50 kartų. Žmogus šio blykčiojimo nemato, bet akys jį jaučia ir gali parausti. Apšvietimui patariama naudoti lempas su storesniu švytalo sluoksniu. Jos mažiau kenkia.

Dienos šviesos lempose yra kenksmingų medžiagų: fosforo (naudojamo vamzdelio vidiniam paviršiui padengti) ir gyvsidabrio garų. Šiuo metu gaminamos dienos šviesos lempos pasižymi atspalvių įvairove, galima nusipirkti lempų, pritaikytų paprastiems cokoliams.

Technikoje plačiai taikomas dar vienos rūšies savaiminis išlydis – ***elèktros lañkas*** (3.8.7 pav.). Jis susidaro, kai įtampa yra neaukšta (40–50 V), tačiau elektros srovė – labai stipri, siekia dešimtis ar net šimtus amperų. Elektros lanką galima gauti prijungiant įtampos šaltinį prie dviejų anglinių elektrodų. Jų galus iš pradžių reikia trumpam suglausti, paskui šiek tiek atitraukti vieną nuo kito. Kontakto vietoje elektrodai staiga įkaista ir ima spinduliuoti elektronus. Šie jonizuoja orą tarp atitrauktų elektrodų, ir čia sušvinta akinamas dujų stulpas – elektros lankas. Jo temperatūra siekia 4000 °C. Labiausiai įkaista neigiamasis elektrodas (katodas). Jame atsiranda įduba (lanko krateris). Didelį elektrinį lanko laidumą lemia intensyvi termoelektroninė emisija iš katodo, esant tokiai aukštai temperatūrai. Elektros lankas naudojamas metalams lydyti, pjaustyti ir virinti. Jis yra galingiausias šviesos šaltinis, įtaisomas prožektoriuose ir kino aparatuose.



3.8.7 pav.

Skyriaus „Elektros srovė įvairiose terpėse" apibendrinimas

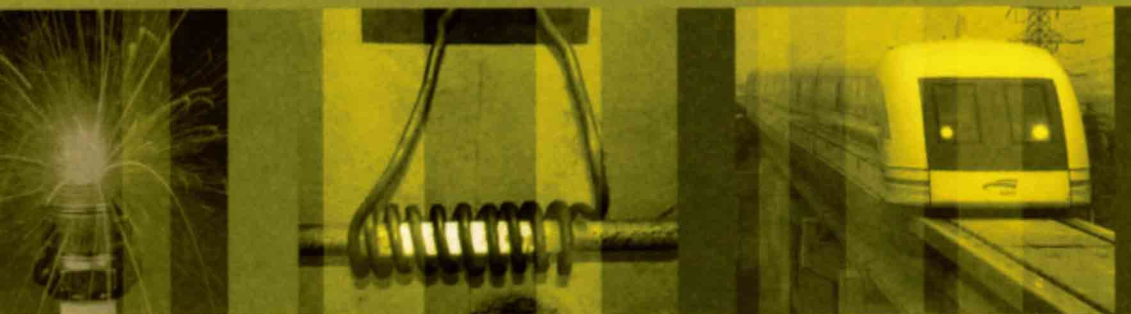
Temperatūrinis varžos koeficientas	Temperatūrinis varžos koeficientas rodo laidininko varžos santykinį pokytį temperatūrai pakitus vienu laipsniu. Grynųjų metalų temperatūrinis varžos koeficientas $\alpha = \frac{1}{273}\ K^{-1}$.
Superlaidumas	Staigus laidininko savitosios elektrinės varžos sumažėjimas iki nulio, kai temperatūra pasidaro artima absoliučiajam nuliui, vadinamas superlaidumu.
Puslaidininkiai	Puslaidininkiais vadinamos medžiagos, kurios pagal laidumą elektros srovei yra tarp laidininkų ir dielektrikų.
Puslaidininkių laidumas	Grynųjų puslaidininkių (neturinčių priemaišų) laidumas vadinamas savuoju, o puslaidininkių su priemaišomis – priemaišiniu. Puslaidininkiams būdingas dvejopas laidumas: • elektroninis, susijęs su laisvaisiais elektronais; • skylinis, susijęs su skylėmis.
Priemaišos	Priemaišos, kurios atiduoda elektronus, vadinamos donorinėmis, o kurios sukuria skyles – akceptorinėmis.
Puslaidininkinė sandūra	Puslaidininkine, arba skyline-elektronine, sandūra vadinama riba, skirianti skylinio ir elektroninio laidumo sritis.
Užtvarinis sluoksnis	Užtvarinis sluoksnis – tai priešingo ženklo krūvininkų sritys abipus skylinės-elektroninės sandūros, stabdančios tolesnį pagrindinių elektringųjų dalelių judėjimą.
Skylinės-elektroninės sandūros savybės	• Elektros srovę laidžiąja skylinės-elektroninės sandūros kryptimi lemia pagrindiniai krūvininkai. • Elektros srovę užtvarine skylinės-elektroninės sandūros kryptimi lemia šalutiniai krūvininkai.

Puslaidininkinis diodas	Puslaidininkinis diodas – prietaisas, turintis vieną skylinę-elektroninę sandūrą ir du išvadus, kuriais jungiamas į elektrinę grandinę. Elektrinėse schemose jis žymimas ženklu .
Tranzistorius	Tranzistorius yra puslaidininkinis prietaisas, turintis dvi skylines-elektronines sandūras ir tris išvadus, kuriais jungiamas į elektrinę grandinę. Elektrinėse schemose jis žymimas taip: • npn tranzistorius – ženklu (K, B, E), • pnp tranzistorius – ženklu (K, B, E).
Termoelektroninė emisija	Termoelektronine emisija vadinamas elektronų spinduliavimas iš įkaitintų iki aukštos temperatūros kūnų.
Vakuuminis diodas	Vakuuminiu diodu vadinama dvielektrodė elektroninė lempa. Elektrinėse schemose ji žymima ženklu .
Vakuuminis triodas	Vakuuminiu triodu vadinama trielektrodė elektroninė lempa. Elektrinėse schemose ji žymima ženklu .
Elektroninis vamzdis	Elektroninis vamzdis – vakuuminis prietaisas, naudojamas televizorių kineskopuose, kompiuterių monitoriuose, oscilografuose ir kt.

Elektrolitai	Elektrolitais vadinamos medžiagos, kurių vandeniniais tirpalais arba lydalais gali tekėti elektros srovė.
Elektrolitinė disociacija	Elektrolitinė disociacija yra elektrolito molekulių (arba joninių junginių) skilimas į jonus joms tirpstant arba lydantis.
Elektrolizė	Medžiagos išsiskyrimas ant elektrodų tekant srovei elektrolitu vadinamas elektrolize.
Elektrolizės dėsnis	Ant elektrodo nusėdusios medžiagos masė (m) yra tiesiogiai proporcinga srovės stipriui (I) ir jos tekėjimo trukmei (Δt): $m = kI\Delta t$; čia k – medžiagos elektrocheminis ekvivalentas.
Elektros išlydis	Elektros srovės tekėjimas dujomis vadinamas elektros išlydžiu.
Dujų jonizacija	Dujų atomų ir molekulių skilimas į teigiamuosius jonus ir elektronus vadinamas dujų jonizacija. e^-
Elektros išlydžio rūšys	Elektros išlydis gali būti dviejų rūšių: • nesavaiminis, kuris vyksta veikiant išoriniam jonizatoriui; • savaiminis, vykstantis be išorinio jonizatoriaus poveikio.



Elektra





4 Elektromagnetinė indukcija

Šiame skyriuje prisiminsite, kas yra elektromagnetinė indukcija, mokysitės nustatyti indukuotosios elektros srovės kryptį, nagrinėsite elektromagnetinės indukcijos dėsnį, susipažinsite su sūkuriniu elektriniu lauku, saviindukcijos reiškiniu.

4.1. Elektromagnetinė indukcija. Magnetinis srautas

Pagrindinės sąvokos

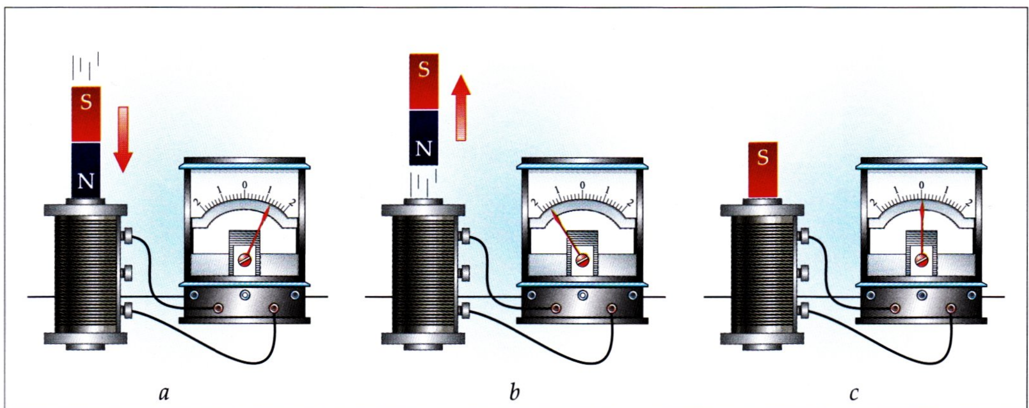
Elektromagnètinė indùkcija, indukúotoji srovẽ, magnètinis sraũtas.

Elektromagnetinės indukcijos reiškinys

Erstedo bandymai parodė, kad elektros srovė sukuria magnetinį lauką. O ar magnetinis laukas savo ruožtu negali sukurti elektros srovės laidininke? Atsakyti į šį klausimą pirmajam pavyko anglų mokslininkui Maiklui Faradėjui. 1831 m. rugpjūčio 29 d. jis atliko bandymus, kurie įrodė, kad kintamasis magnetinis laukas gali sukurti elektros srovę. Praktinė šio atradimo reikšmė neabejotina – juo pagrįsta visose pasaulio elektrinėse veikiančių generatorių konstrukcija. Be to, šis atradimas patvirtino glaudų elektrinio ir magnetinio lauko ryšį.

Faradėjaus bandymus pakartoti nesunku. 4.1.1 paveiksle pavaizduota, kaip elektros srovė atsiranda ritėje, sujungtoje su galvanometru. Magnetą kišant į ritę (4.1.1 pav., *a*) arba traukiant iš jos (4.1.1 pav., *b*), galvanometro rodyklė pakrypsta. Tai rodo, kad rite teka elektros srovė. Kai magnetas nejuda, galvanometro rodyklė nekrypteli (4.1.1 pav., *c*). Srovė rite pradeda tekėti tik tada, kai magnetas judinamas ritės atžvilgiu. Jį artinant prie ritės, magnetinis laukas, kertantis ritę, stiprėja, tolinant – silpnėja. Vadinasi,

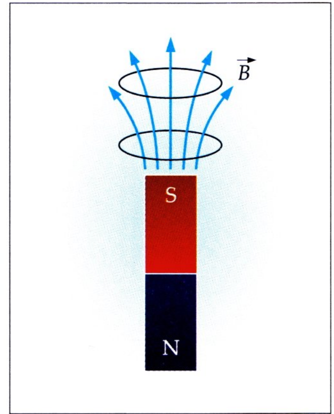
4.1.1 pav.



kintant magnetiniam laukui, ritėje atsiranda elektros srovė.

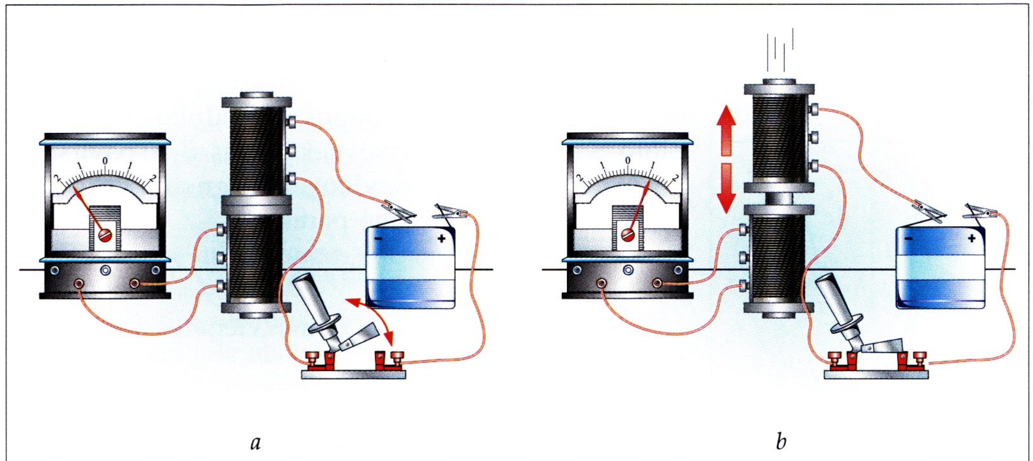
Žinome, kad magnetinį lauką galima pavaizduoti magnetinės indukcijos linijomis. Judinant magnetą ritės atžvilgiu, kinta šių linijų, kertančių ritės vijas, skaičius. Kai magnetą prie ritės artiname, magnetinių linijų skaičius didėja (4.1.2 pav.), kai toliname – mažėja. ***Elektros srovės atsiradimas uždarame laidžiame kontūre, kintant magnetinės indukcijos linijų, kertančių jo ribojamą plotą, skaičiui, vadinamas elektromagnètinės indùkcijos réiškiniu.*** Jo metu atsiradusi elektros srovė vadinama ***indukúotąja srovè***.

Faradėjus savo bandymais įrodė, kad, sujungiant ir išjungiant elektrinę grandinę, indukuotoji srovė pradeda tekėti ir nejudančiais vienas kito atžvilgiu laidininkais (4.1.3 pav., *a*). Ji taip pat atsiranda judinant rites viena kitos atžvilgiu (4.1.3 pav., *b*).



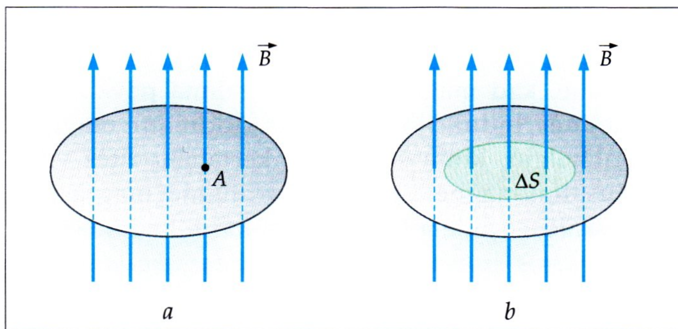
4.1.2 pav.

4.1.3 pav.

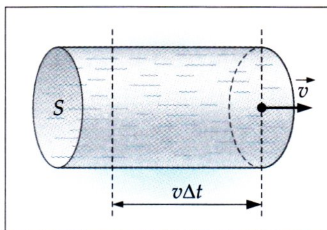


Magnetinis srautas

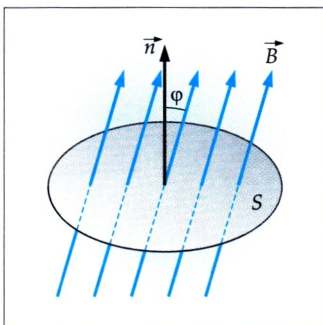
Nagrinėdami magnetinį lauką, sužinojote, kad jį galima apibūdinti magnetinės indukcijos vektoriumi $(\vec{B}_0)$. Tačiau šis fizikinis dydis rodo, koks yra magnetinis laukas tik viename erdvės taške, pavyzdžiui, taške A (4.1.4 pav., *a*). Magnetiniam laukui tam tikroje erdvės srityje (ΔS; 4.1.4 pav., *b*) nusakyti vartojamas kitas dydis – ***magnètinis sraũtas***. Srauto sąvoka asocijuojasi su skysčio srove, tėkme. Antai vandens srautas yra vandens kiekis (tūris), pratekantis vamzdžio



4.1.4 pav.



4.1.5 pav.



4.1.6 pav.

skerspjūviu per vienetinį laiką (4.1.5 pav.). Per šį laiką nagrinėjamu skerspjūviu pereina tik tos vandens dalelės, kurios yra nutolusios nuo jo atstumu $v\Delta t$. Tada vandens srautas $\Delta V = Sv\Delta t$.

Norėdami atskleisti magnetinio srauto sąvokos prasmę, remsimės 4.1.6 paveikslu. Sakykime, kontūras (žiedas), kurio ribojamas plotas lygus S, yra magnetiniame lauke. Jo indukcijos linijos su normale $\vec{n}$ (stãtmeniu kontūro plókštumai) sudaro kampą φ. ***Magnètiniu srautù*** vadinsime fizikinį dydį, lygų magnetinės indukcijos vektoriaus $\vec{B}$ modulio, paviršiaus ploto S ir kampo φ tarp vektoriaus $\vec{B}$ ir paviršiaus normalės $\vec{n}$ kosinuso sandaugai. Magnetinį srautą pažymėję raide Φ, galėsime parašyti:

$$\Phi = BS\cos\varphi. \qquad (4.1)$$

Magnetinio srauto matavimo vienetas vadinamas *vébenone* ir žymimas Wb:

$$1\ \text{Wb} = 1\ \text{T} \cdot 1\ \text{m}^2 = 1\ \text{T} \cdot \text{m}^2.$$

1 Wb srautas statmenai kerta 1 m² ploto kontūrą vienalyčiame 1 T indukcijos magnetiniame lauke. Remdamiesi magnetinio srauto sąvoka, galime trumpiau apibrėžti elektromagnetinės indukcijos reiškinį. Taigi elektromagnetinė indukcija yra elektros srovės atsiradimas uždarame laidžiame kontūre, kintant jį kertančiam magnetiniam srautui.

Klausimai ir užduotys

1. Ką vadiname elektromagnetinės indukcijos reiškiniu?

2. Kokią įtaką tolesnei elektrotechnikos raidai turėjo elektromagnetinės indukcijos atradimas?

3. Apibrėžkite magnetinį srautą. Nurodykite jo matavimo vienetą.

4. 4.1.7 paveiksle, *a*, pavaizduotas tiesus laidininkas *KL* ir rėmelis *ABCD*. Laidininku *KL* teka elektros srovė. Nustatykite, ar rėmelyje atsiras elektros srovė, jeigu:

a) laidininke ji bus įjungiama ir išjungiama;

b) rėmelis nejudės laidininko atžvilgiu;

c) rėmelis bus traukiamas brėžinio plokštuma į dešinę;

d) rėmelis bus sukamas apie laidininką, nekeičiant jo atstumo laidininko atžvilgiu (4.1.7 pav., *b*).

5. Dvi vienodos ritės prijungtos prie galvanometrų taip, kaip pavaizduota 4.1.8 paveiksle. Ar tokio pat stiprio elektros srovė tekės abiem ritėmis, kai magnetas kris į jų vidų? Atsakymą pagrįskite.

6. Dvi ritės užmautos ant tos pačios geležinės šerdies, kaip pavaizduota 4.1.9 paveiksle. Viršutinė ritė prijungta prie galvanometro, apatinę galima prijungti prie srovės šaltinio. Nurodykite, ar šiais atvejais viršutine rite ims tekėti elektros srovė:

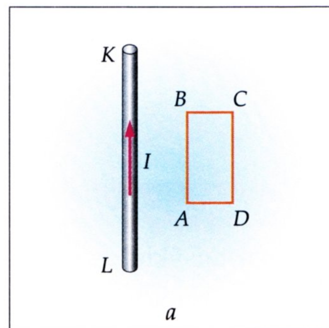
a) sujungiant ir nutraukiant nuolatinės srovės grandinę, kurioje įjungta apatinė ritė;

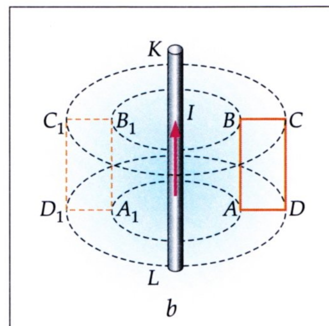
b) apatinę ritę prijungus prie nuolatinės srovės šaltinio;

c) apatinę ritę prijungus prie kintamosios srovės šaltinio;

d) viršutinę ritę numaunant nuo šerdies, kai apatinė prijungta prie nuolatinės srovės šaltinio;

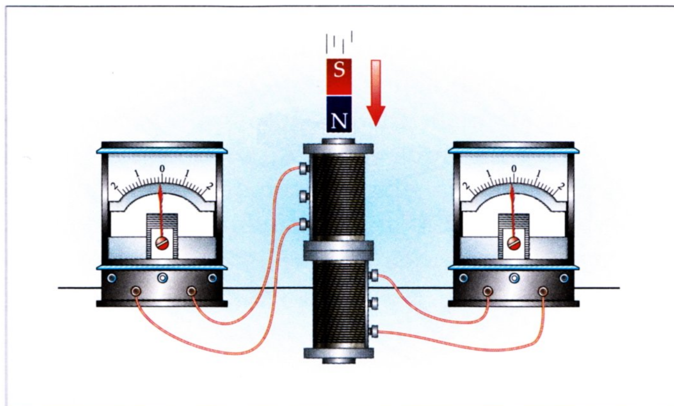
e) šerdį keliant į viršų, kai apatinė ritė prijungta prie nuolatinės srovės šaltinio.



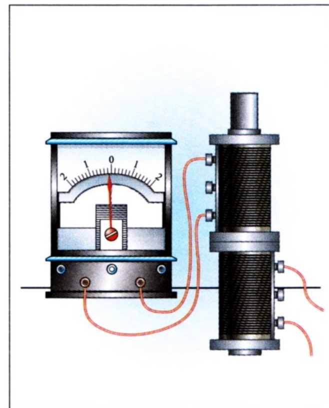


4.1.7 pav.

4.1.8 pav.



4.1.9 pav.



4.2. Indukuotosios srovės kryptis

! Pagrindinės sąvokos

Leñco taisỹklė, dešinė̃s rañkos taisỹklė.

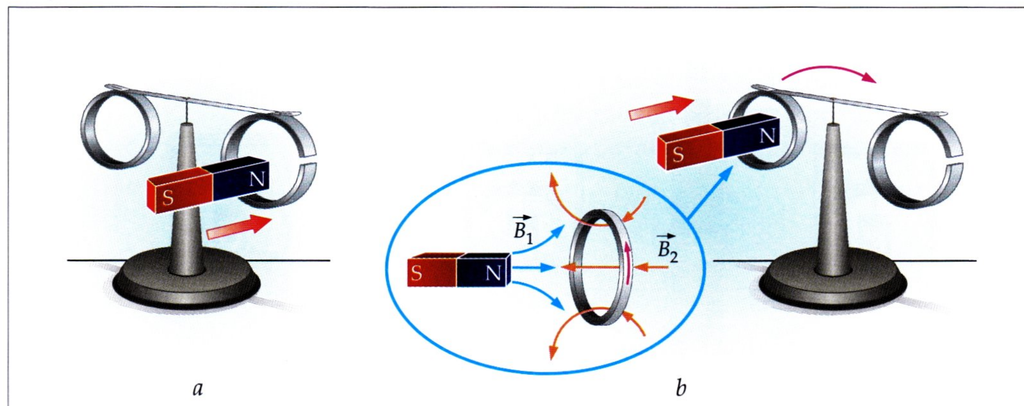
Lenco taisyklė

Nagrinėdami elektromagnetinės indukcijos reiškinį (4.1.1 pav.), įsitikinote, kad indukuotosios srovės kryptis ritėje priklauso nuo to, ar magnetas prie ritės artinamas, ar nuo jos tolinamas. Kuo skiriasi šie reiškiniai? Pirmuoju atveju magnetinės indukcijos linijų, kertančių ritės vijas, skaičius didėja, antruoju – mažėja. Ši išvada svarbi, tačiau vien jos nepakanka, norint nustatyti indukuotosios srovės kryptį.

Remkimės 4.2.1 paveiksle, *a*, pavaizduotu bandymu. Jam naudojamas strypas, galintis laisvai sukiotis apie vertikalią ašį. Prie strypo galų pritvirtinti du aliumininiai žiedai. Vienas iš jų yra vientisas, kitas – su įpjova. Magnetą kišant į žiedą su įpjova, strypas nepasisuka, nes įpjova neleidžia žiede indukuotis elektros srovei. Taigi magnetas perpjauto žiedo neveikia.

Artinant magnetą prie vientiso žiedo, šis ima tolti. Kodėl? Magneto magnetinės indukcijos vektorių pažymėkime raide $\vec{B}_1$ (4.2.1 pav., *b*). Kai magnetas artėja prie žiedo, jame indukuojasi elektros srovė, kuri sukuria magnetinį lauką $(\vec{B}_2)$. Ši srovė žiedu teka tokia kryptimi, kad jos sukurtas magnetinis laukas $(\vec{B}_2)$ priešinasi išorinio magnetinio lauko $(\vec{B}_1)$ kitimui. Žiedas tampa panašus į magnetą, turintį pietų ir šiau-

4.2.1 pav.



rės polius. Kadangi vienavardžiai magnetų poliai vienas kitą stumia, tai žiedas nuo magneto tolsta.

Į vientisą žiedą, jį prilaikant, įkišamas magnetas. Traukiant magnetą iš žiedo, šis pradeda sekti iš paskos. Vadinasi, žiede indukuota elektros srovė teka tokia kryptimi, kad į magnetą atgręžtoje žiedo pusėje susidaro priešingas polius negu magneto. Todėl magnetas traukia žiedą ir šis juda įkandin magneto.

Minėtus indukuotosios srovės atsiradimo dėsningumus 1833 m. pirmasis pastebėjo rusų mokslininkas Emilijus Lencas (*Emil Lenz*). Remdamasis šiais dėsningumais, jis suformulavo taisyklę, pagal kurią nustatoma indukuotosios srovės kryptis: ***indukuotoji srovė uždaru kontūru teka tokia kryptimi, kad jos sukurtas magnetinis laukas priešinasi išorinio magnetinio lauko kitimui, sukėlusiam šią srovę.*** Lenco taisyklę galima pagrįsti energijos tvermės dėsniu. Įsivaizduokime, kad, artinant magnetą prie žiedo, šis ne toltų nuo magneto, bet, pavyzdžiui, žiedo link stumtelėtas magnetas pats įlįstų į žiedą. Šiuo atveju energijos tvermės dėsnis būtų pažeistas. Magneto kinetinė energija padidėtų ir drauge atsirastų indukuotoji elektros srovė, kuriai taip pat reikalinga energija. Vadinasi, tiek magneto, tiek indukuotosios srovės energija atsirastų iš niekur. Bet pagal energijos tvermės dėsnį taip būti negali.

Lenco taisyklės taikymas

Indukuotosios srovės krypties laidininke patogu ieškoti atskirais etapais. Kaip tai daroma, paaiškinsime remdamiesi 4.2.2 paveikslu.

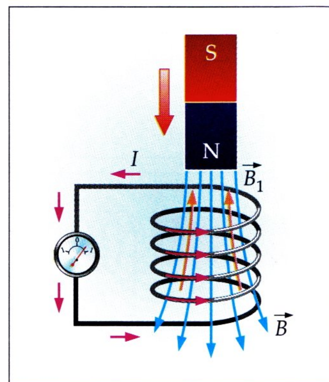
1. Iš pradžių nustatoma išorinio magnetinio lauko indukcijos linijų $\vec{B}$ kryptis.

2. Paskui išsiaiškinama, kaip kinta ritės vijas kertantis magnetinis srautas: stiprėja (artinant magnetą prie ritės) ar silpnėja (tolinant magnetą nuo ritės). Paveiksle nurodytu atveju jis stiprėja.

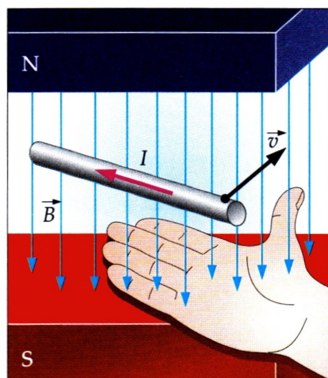
3. Tada, taikant Lenco taisyklę, nustatoma ritėje indukuotos srovės sukurto magnetinio lauko indukcijos linijų $\vec{B}_1$ kryptis. Kai srautas stiprėja, $\vec{B}_1$ kryptis yra priešinga $\vec{B}$ krypčiai.

4. Galiausiai, žinant magnetinės indukcijos linijų $\vec{B}_1$ kryptį, indukuotosios srovės kryptis nustatoma pagal dešinės rankos taisyklę.

4.2.2 pav.



Indukuotosios srovės kryptis judančiame laidininke



4.2.3 pav.

Skaitydami 4.1 temą, sužinojote, kad srovė gali indukuotis laidininke, kuris juda magnetiniame lauke. Kaip tokiu atveju nustatyti srovės kryptį? Šią taisyklę jau žinote iš X klasės kurso, tačiau ją verta pakartoti (4.2.3 pav.): ***jeigu dešinę ranką laikysime taip, kad magnetinės indukcijos linijos eitų į delną, o 90° kampu ištiestas nykštys rodytų laidininko judėjimo kryptį, tai kiti keturi ištiesti pirštai rodys indukuotosios srovės kryptį.*** Primename, kad elektrine grandine tekančios srovės kryptis yra priešinga elektronų judėjimo krypčiai. Vadinasi, elektronai laidininke (4.2.3 pav.) juda į priešingą pusę, negu rodo srovės tekėjimo kryptį žyminti raudona rodyklė.

Klausimai ir užduotys

1. Kam taikoma Lenco taisyklė? Ką ji teigia?

2. Kaip nustatoma indukuotosios srovės kryptis?

3. Nustatykite indukuotosios srovės kryptį ritėje 4.2.4 paveiksle pavaizduotais atvejais.

4. Kuria kryptimi tekės ritėje *B* (4.2.5 pav.) indukuota elektros srovė:

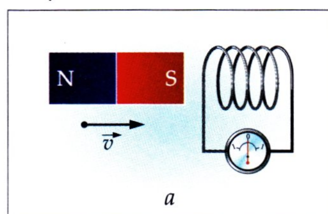
a) įjungiant jungiklį;

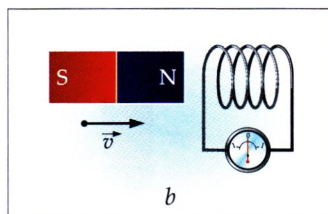
b) išjungiant jungiklį?

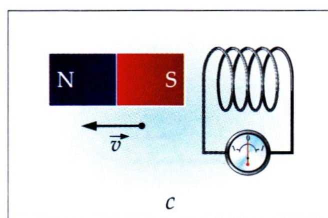
Atsakymą pagrįskite.

5. 4.2.6 paveiksle parodyta žiede indukuotos elektros srovės kryptis. Kuria kryptimi juda magnetas?

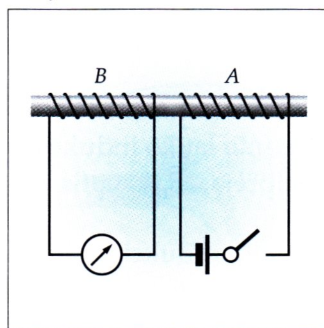
4.2.4 pav.



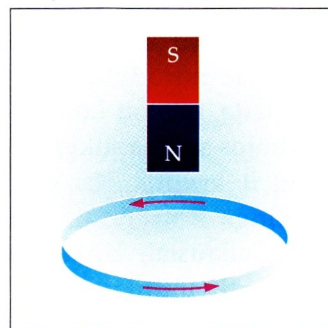




4.2.5 pav.



4.2.6 pav.



4.3. Elektromagnetinės indukcijos dėsnis

Indukuotosios elektrovaros samprata

Pagrindinės sąvokos

Indukúotoji elektróvara.

Uždaru kontūru tekanti elektros srovė rodo, kad laisvuosius jo krūvininkus veikia pašalinės neelektrinės kilmės jėgos, taigi kontūre atsiranda elektrovara. Elektromagnetinės indukcijos reiškinio metu atsiradusi elektrovara vadinama ***indukúotąja elektróvara***. Ją žymėsime E_i. Elektromagnetinės indukcijos reiškinį kiekybiškai paaiškina indukuotosios elektrovaros ir magnetinio srauto ryšys. Jis įvardijamas kaip elektromagnètinės indùkcijos désnis.

Elektromagnetinės indukcijos dėsnis

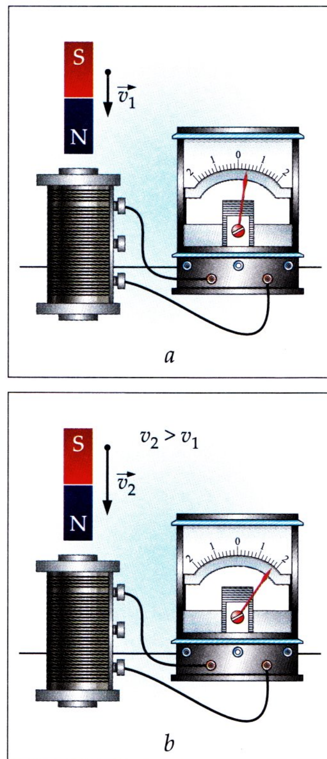
Faradėjaus bandymai rodo, kad indukuotosios srovės stipris uždarame kontūre priklauso nuo magneto judėjimo greičio ritės vijų atžvilgiu. Kuo greičiau juda magnetas, tuo stipresnė srovė indukuojasi (4.3.1 pav., *a* ir *b*). Ji atsiranda kintant kontūro ribojamą plotą kertančiam magnetiniam srautui. Kuo greičiau ritės vijų atžvilgiu juda magnetas, tuo didesnis magnetinio srauto kitimo greitis. Iš šio bandymo išplaukia svarbi išvada: indukuotosios srovės stipris yra tiesiogiai proporcingas kontūro ribojamą plotą kertančio magnetinio srauto kitimo greičiui, t. y.

$$I \sim \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

Indukuotosios elektros srovės stipris taip pat priklauso nuo laidininko varžos, todėl elektromagnetinės indukcijos dėsnis formuluojamas ne srovės stipriui, bet indukuotajai elektrovarai. Jis teigia, kad ***uždarame kontūre indukuota elektrovara yra tiesiogiai proporcinga kontūrą kertančio magnetinio srauto kitimo greičiui:***

$$E_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}. \quad (4.2)$$

4.3.1 pav.



Minuso ženklas rodo, kad indukuotosios srovės sukurtas magnetinis srautas priešinasi ją sukėlusio magnetinio srauto stiprėjimui $\left(\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} > 0\right)$. Kai magnetinis srautas silpnėja $\left(\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} < 0\right)$, indukuotosios srovės sukurtas magnetinis srautas jį palaiko. Šis aiškinimas pagrįstas Lenco taisykle.

Išnagrinėjome, kokio dydžio elektrovara indukuojasi viename kontūre (vienoje vijoje). O jeigu tokių kontūrų yra daug, kaip antai ritėje? Kaip tada randama indukuotoji elektrovara? Jeigu nuosekliai sujungtuose kontūruose magnetinis srautas kinta vienodai, tai visuose juose indukuota elektrovara lygi atskiruose kontūruose indukuotų elektrovarų sumai. Vadinasi, iš n vienodų vijų (kontūrų) suvytoje ritėje indukuosis n kartų didesnė elektrovara negu vienoje vijoje.

Kiekybiškai susiejome du svarbius fizikinius dydžius: indukuotąją elektrovarą ir magnetinį srautą, tačiau liko neaiški indukuotosios elektrovaros kilmė. Apie ją sužinosite kitose temose (4.4 ir 4.5).

Klausimai ir užduotys ??

1. Suformuluokite elektromagnetinės indukcijos dėsnį.

2. Kodėl elektromagnetinės indukcijos dėsnio išraiškoje rašomas minuso ženklas?

3. Metalinį žiedą veriantis magnetinis srautas per 0,2 s pakito 1,2 Wb. Apskaičiuokite:
a) magnetinio srauto kitimo greitį; (6 Wb/s)
b) žiede indukuotą elektrovarą. (6 V)

4. Žiedo ribojamas plotas 10 cm^2. Jį statmenai kerta magnetinis laukas, kurio indukcijos modulis per 0,01 s pakinta nuo 0,2 T iki 0,7 T. Apskaičiuokite žiede indukuotą elektrovarą. (0,05 V)

5. Uždaras metalinis žiedas juda tolygiai magnetiniame lauke. Iš pradžių žiedas traukiamas išilgai magnetinio lauko jėgų linijų, paskui – statmenai toms linijoms. Ar pirmuoju ir antruoju atveju žiede atsiranda elektros srovė? Atsakymą pagrįskite.

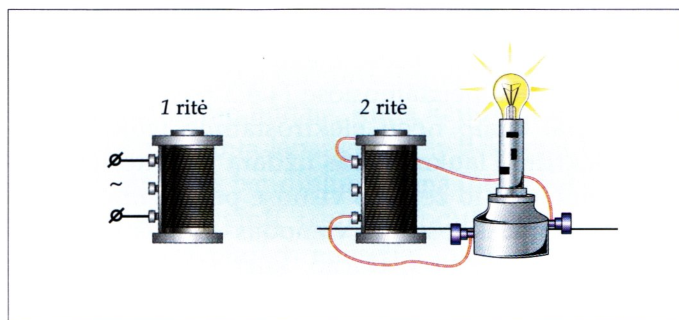
4.4. Sūkurinis elektrinis laukas

Nejudančiame laidininke indukuota elektrovara

Pagrindinės sąvokos

Sūkur̀inis elektr̀inis laũkas,
sūkur̀inės srõvės.

Elektrovara gali indukuotis nejudančiame laidininke. Pirmąja rite (4.4.1 pav.) paleidus kintamąją elektros srovę, antrosios ritės grandine taip pat ima tekėti srovė. Kokios kilmės elektrovara indukuojasi antrojoje ritėje, kai ji yra kintamajame magnetiniame lauke? Kadangi antroji ritė nejuda, galime teigti, kad nejuda ir joje esantys laisvieji elektronai[1]. Nejudančias elektringąsias daleles veikia tik elektrostatinis laukas. Tačiau nagrinėjamu atveju jo nėra, nes antrosios ritės aplinkoje nėra elektrostatinio lauko šaltinių – nejudančių elektringųjų dalelių. Vadinasi, kintant magnetiniam laukui, atsiranda naujos rūšies elektrinis laukas, kuris veikia nejudančius antrosios ritės elektronus. Šis laukas vadinamas ***sūkuriniù elektriniù laukù***. Būtent jis atlieka darbą, perkeldamas ritės vijomis laisvuosius elektronus. Taigi nejudančiame laidininke indukuota elektrovara yra elektrinės kilmės.

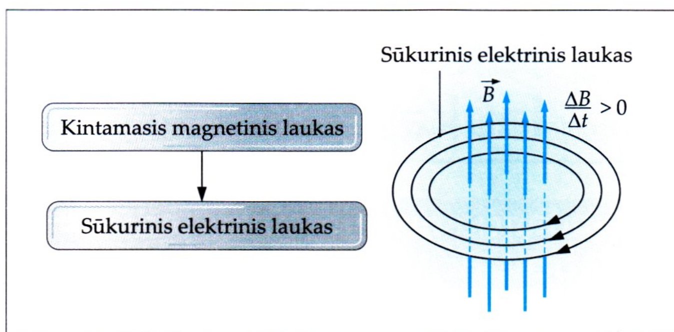


4.4.1 pav.

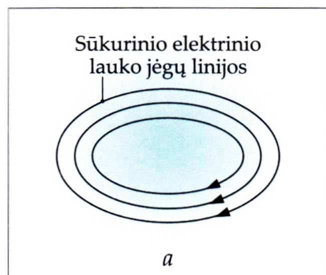
Sūkurinio elektrinio lauko savybės

Sūkurinis elektrinis laukas yra kintamojo magnetinio lauko kuriamas elektrinis laukas. Pirmasis šią išvadą suformulavo škotų fizikas Džeimsas Klarkas Maksvelas (*James Clerk Maxwell*, 1831–1879). Remiantis sūkurinio elektrinio lauko samprata, galima nauju

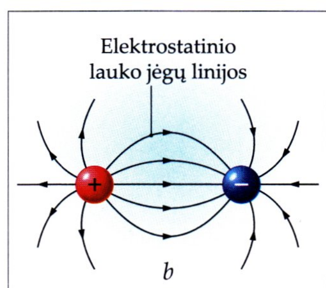
[1] Iš tikrųjų laisvieji elektronai ritėje juda netvarkingai (šiluminis judėjimas). Vidutinis šio judėjimo greitis lygus nuliui, todėl ir srovės stipris turi būti lygus nuliui.



4.4.2 pav.



a



b

4.4.3 pav.

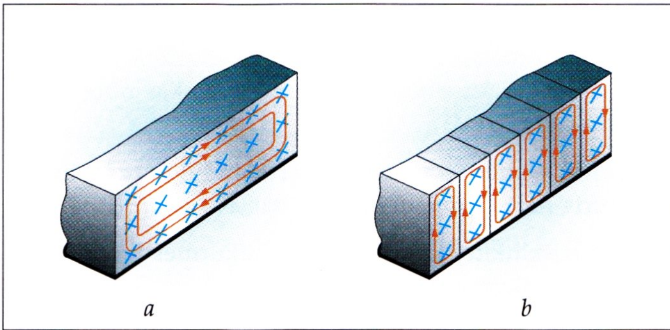
aspektu pažvelgti į elektromagnetinės indukcijos reiškinį: kintant magnetiniam laukui, atsiranda sūkurinis elektrinis laukas (4.4.2 pav.). Šis procesas nepriklauso nuo to, ar magnetiniame lauke ritė yra (4.4.1 pav.), ar jos nėra. Tai nekeičia elektromagnetinės indukcijos reiškinio esmės. Ritė – tik priemonė, padedanti aptikti sūkurinį elektrinį lauką. Jo veikiami, laisvieji elektronai ritėje pradeda judėti kryptingai – indukuojasi elektrovara.

Sūkurinis elektrinis laukas skiriasi nuo elektrostatinio.

- Pirma, nevienodi yra jų šaltiniai: sūkurinio elektrinio lauko – kintamasis magnetinis laukas, elektrostatinio – nejudančios elektringosios dalelės.
- Antra, skiriasi šių laukų jėgų linijos. Sūkurinio elektrinio lauko jos yra uždaros kreivės (4.4.3 pav., *a*) be pradžios ir pabaigos, o elektrostatinio – tiesės, prasidedančios teigiamosiose elektringosiose dalelėse ir pasibaigiančios neigiamosiose (4.4.3 pav., *b*).
- Trečia, kitaip negu elektrostatinio lauko, sūkurinio elektrinio lauko darbas uždara trajektorija nelygus nuliui, mat jo ženklas visuose perkeliamo krūvio trajektorijos taškuose yra vienodas – jėgos ir poslinkio kryptys sutampa. Darbo, kurį atlieka sūkurinis elektrinis laukas, perkeldamas teigiamąjį vienetinį krūvį išilgai uždaro nejudančio laidininko, skaitinė vertė lygi indukuotajai elektrovarai.

Sūkurinės srovės

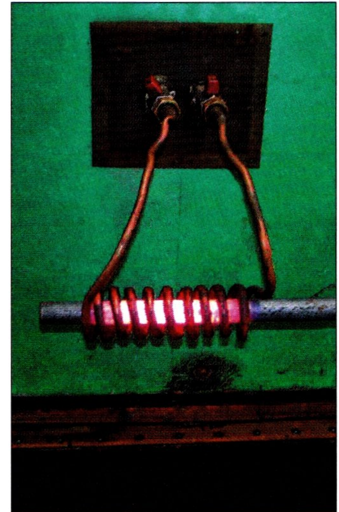
Kintant magnetiniam laukui, elektros srovė atsiranda ne tik elektrinėse grandinėse, bet ir masyviuose vientisuose laidininkuose. Uždaros elektros srovės, kurias stambiuose laidininkuose sukelia sūkurinis



4.4.4 pav.

elektrinis laukas, vadinamos ***sūkurìnėmis srovėmìs*** (4.4.4 pav., *a*). Šios srovės jas tyrinėjusio prancūzų fiziko Žano Bernaro Fuko (*Jean Bernard Foucault*, 1819–1868) garbei dar vadinamos Fukò srovėmìs. Vienuose prietaisuose jos yra nepageidaujamos, kitų veikimas pagrįstas būtent jomis.

Tekant Fuko srovėms, laidininke išsiskiria daug šilumos. Dėl to patiriama nemažai energijos nuostolių. Norint juos sumažinti, transformatorių ir elektros variklių šerdys daromos ne vientisos, o iš atskirų izoliuotų plokščių (4.4.4 pav., *b*). Tačiau neretai sūkurinės srovės yra naudingos. Jomis galima apdirbti ar grūdinti metalų paviršių, suvirinti metalus, įkaitinti medžiagas prieš kalimą, vamzdžius, norint pakeisti jų formą (4.4.5 pav.). Fuko srovės naudojamos mikrobangų krosnelėse.

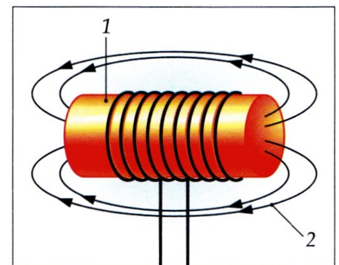


4.4.5 pav.

Kaitinimas sūkurinėmis srovėmis (kitaip tariant, indùkcinis kaĩtinimas) turi privalumų, palyginti su klasikiniais kaitinimo būdais. Kūną kaitinant indukciniu būdu, šiluma plinta labai greitai ir tiesiogiai kūno viduje. Kaitinamus bandinius galima integruoti į gamybos linijas. Palyginti trumpa indukcinio kaitinimo trukmė leidžia taupyti energiją, mažinti gaminamos produkcijos kainą.

Indukcinio kaitinimo principas nesudėtingas. Metalinis ruošinys *1* įnešamas į kintamąjį magnetinį lauką 2 (4.4.6 pav.). Šis ruošinyje sukelia sūkurines sroves, kurios jį įkaitina. Šilumos plitimas ruošiniu priklauso nuo elektros srovės stiprio ir įsiskverbimo gylio, taip pat nuo ruošinio atsparumo.

4.4.6 pav.



Sūkurinės elektros srovės naudojamos ir fizioterapijoje. Atskirų žmogaus kūno dalių šildymas Fuko srovėmis skiriamas kaip gydomoji procedūra.

Klausimai ir užduotys

1. Kuo skiriasi sūkurinis elektrinis laukas nuo elektrostatinio?

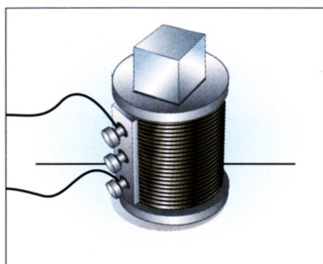
2. Kokios kilmės yra elektrovara, indukuota laidininke, kuris nejuda magnetiniame lauke?

3. Paaiškinkite, kaip atsiranda sūkurinės srovės. Pateikite jų taikymo pavyzdžių.

4. Sąsiuvinyje persibraižykite 4.4.6 paveikslą. Pažymėkite elektros srovės tekėjimo rite kryptį ir prie ritės galų prijungto šaltinio polių ženklus.

5. Ant ritės šerdies uždėtas metalinis kubelis (4.4.7 pav.). Kai rite teka nuolatinė elektros srovė, kubelis lieka šaltas, kai kintamoji – įšyla. Paaiškinkite šiuos reiškinius.

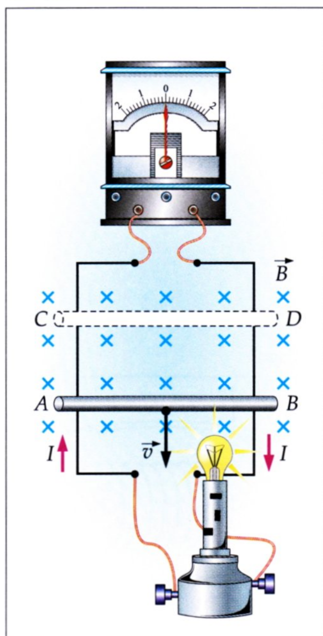
4.4.7 pav.



6*. Vienalytis magnetinis laukas kinta 10^{-2} T/s greičiu. Jame yra metalinis žiedas, kurio ribojamas plotas 10 cm^2, o varža 10 Ω. Magnetinio lauko linijos statmenos žiedo plokštumai. Apskaičiuokite elektros srovės, tekančios žiedu, stiprį. (10^{-6} A)

4.5. Judančiame laidininke indukuota elektrovara

4.5.1 pav.



Elektrovaros, indukuotos judančiame laidininke, prigimtis

Elektromagnetinės indukcijos reiškinį galima stebėti ne tik kintamajame (4.4.1 pav.), bet ir pastoviame magnetiniame lauke (4.5.1 pav.). Nagrinėjamu atveju laidininkas *AB* juda pastoviu greičiu *v* išilgai kontūro šoninių kraštinių, išlikdamas lygiagretus su kraštine *CD*. Drauge su laidininku juda ir laisvieji jo krūvininkai. Magnetiniame lauke judančius krūvininkus veikia Lorenco jėga. Vadinasi, šiuo atveju laidininke indukuota elektrovara yra magnetinės kilmės. Daugelio elektrinių generatoriuose būtent Lorenco jėga judančiuose laidininkuose priverčia judėti elektronus.

Indukuotoji elektrovara, kai magnetinės indukcijos vektorius statmenas laidininko judėjimo greičiui

Sakykime, pastovaus magnetinio lauko, kuriame juda laidininkas AB (4.5.1 pav.), magnetinės indukcijos vektorius $\vec{B}$ yra statmenas laidininkui ir jo greičio vektoriui $\vec{v}$ $\left(\vec{B} \perp \vec{v}\right)$. Apskaičiuokime šiame laidininke indukuotą elektrovarą. Elektringosios dalelės juda kartu su laidininku AB. Magnetiniame lauke tas daleles veikia Lorenco jėga

$$F_{\mathrm{L}} = |q|vB. \tag{4.3}$$

Jos kryptis nustatoma pagal kairės rankos taisyklę. Nagrinėjamu atveju Lorenco jėga yra nukreipta išilgai laidininko AB iš taško A į tašką B. Jos darbas

$$A = F_{\mathrm{L}}\Delta l = |q|vB\Delta l; \tag{4.4}$$

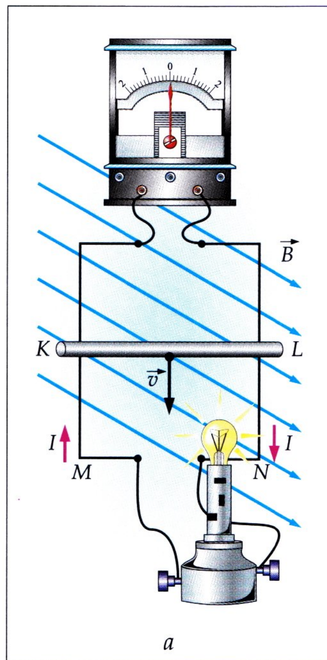
čia Δl – laidininko AB ilgis. Visas darbas, kurį Lorenco jėga atlieka perkeldama krūvį $|q|$ kontūru $ACDB$, lygus jos darbui judančioje kontūro dalyje. Nejudančiose dalyse esančių laisvųjų krūvininkų Lorenco jėga neveikia, todėl darbo neatlieka.

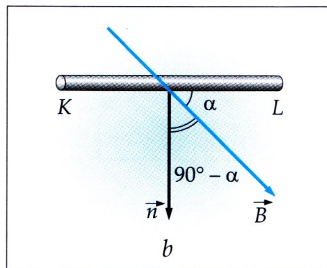
Laidininke AB indukuota elektrovara lygi darbo, kuris atliekamas perkeliant krūvį $|q|$, ir to krūvio santykiui. Lorenco jėgos darbą apibūdindami kaip pašalinių jėgų darbą, gauname indukuotosios elektrovaros išraišką

$$E_{\mathrm{i}} = \frac{A}{|q|} = vB\Delta l. \tag{4.5}$$

4.5 formulė tinka kiekvienam laidininkui, judančiam greičiu v statmenai magnetinio lauko indukcijai.

4.5.2 pav.





Indukuotoji elektrovara, kai magnetinės indukcijos vektorius nestatmenas laidininko judėjimo greičiui

Šiuo atveju (4.5.2 pav.) indukuotąją elektrovarą galima apskaičiuoti panašiai. Tačiau yra ir kitas būdas, grindžiamas elektromagnetinės indukcijos dėsniu (4.2). Pritaikykime jį.

Indukuotoji elektrovara lygi magnetinio srauto pokyčiui per tam tikrą laiką:

$$E_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}. \quad (4.6)$$

Sakykime, magnetinis srautas, kertantis kontūrą *KLMN*, su to kontūro plokštuma sudaro kampą α (4.5.2 pav., *b*). Tada su normale $\vec{n}$ jis sudarys kampą (90° – α). Atsižvelgus į tai, magnetinį srautą galima išreikšti taip:

$$\Phi = BS\cos(90° - \alpha) = BS\sin\alpha; \quad (4.7)$$

čia *S* – kontūro *KLMN* ribojamas plotas. Laidininkui *KL* judant kraštinės *MN* link, plotas *S* kinta. Šį kitimą galima išreikšti formule

$$S = KL \cdot (KM - vt). \quad (4.8)$$

Per laiką Δt kontūro plotas sumažėja[1] dydžiu

$$\Delta S = -\Delta l v \Delta t. \quad (4.9)$$

Magnetinis srautas Φ per tą laiką pakinta dydžiu

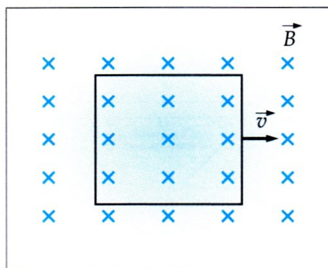
$$\Delta\Phi = -B\Delta l v \Delta t \sin\alpha. \quad (4.10)$$

Šią magnetinio srauto pokyčio išraišką įrašę į 4.6 formulę, gauname:

$$E_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = B\Delta l v \sin\alpha. \quad (4.11)$$

Gavome formulę elektrovarai, indukuotai judančiame laidininke, apskaičiuoti. Tai – universali formulė. Kai magnetinės indukcijos vektorius yra statmenas laidininko judėjimo greičiui $(\vec{B} \perp \vec{v})$, t. y. kai α = 90°, o sin 90° = 1, indukuotosios elektrovaros išraiška 4.11 supaprastėja ($E_i = B\Delta l v$) ir sutampa su 4.5 formule. Vadinasi, anksčiau gauta 4.5 formulė indukuotajai elektrovarai apskaičiuoti yra tik atskiras universalios formulės 4.11 atvejis.

4.5.3 pav.



Jeigu visas kontūras juda vienalyčiame magnetiniame lauke, nekeisdamas orientacijos vektoriaus $\vec{B}$ atžvilgiu, tai elektrovara kontūre neatsiranda (4.5.3 pav.). Taip yra dėl to, kad nekinta magnetinis srautas, kertantis kontūro ribojamą plotą.

Šioje temoje aptarėme laidininko judėjimą magnetiniame lauke, mokėmės apskaičiuoti jame indukuotą elektrovarą. Buvo nagrinėti abstraktūs modeliai. Ta-

[1] Minuso ženklas rodo, kad kontūro plotas mažėja.

čiau indukuotosios elektrovaros atsiradimo pavyzdžių nesunku rasti ir mus supančioje aplinkoje. Jau minėjome, kad elektrovara indukuojasi judant laidininkams elektrinių generatorių sukurtuose magnetiniuose laukuose. Ji taip pat atsiranda lėktuvo sparnuose, kai šis skrenda Žemės magnetiniame lauke (žr. 4 užduotį). Potencialų skirtumas susidaro ir tarp skrendančio paukščio sparnų galų. Tiesa, jis labai mažas, apytiksliai lygus 10^{-5} V. Važiuodami automobiliu, pagalvokite apie tai, kad elektrovara indukuojasi automobilio ratus jungiančioje ašyje. Pavyzdžiui, apskaičiuota, kad tarp 180 cm ilgio ratų ašies galų susidaro $3 \cdot 10^{-3}$ V potencialų skirtumas.

Klausimai ir užduotys

1. Kokios kilmės yra elektrovara, indukuota judančiame laidininke?

2. Kaip indukuotosios elektrovaros modulis priklauso nuo kampo tarp magnetinės indukcijos vektoriaus ir laidininko judėjimo greičio vektoriaus?

3. 50 cm^2 ploto rėmelis yra magnetiniame lauke, kurio indukcija 0,4 T. Nubraižykite brėžinį ir apskaičiuokite magnetinį srautą, kertantį rėmelį, kai:

a) jo plokštuma statmena magnetinės indukcijos vektoriui; (2 mWb)

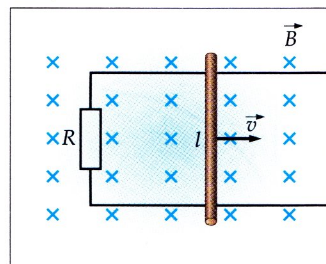
b) jo plokštuma su magnetinės indukcijos vektoriumi sudaro 30° kampą. (1 mWb)

4. Lėktuvas skrenda 1080 km/h greičiu. Apskaičiuokite potencialų skirtumą, susidarantį tarp jo sparnų galų, kai Žemės magnetinio lauko indukcijos vertikaliojo sando modulis $5 \cdot 10^{-5}$ T, o atstumas tarp sparnų galų 30 m. (0,45 V)

5. 0,25 m ilgio laidininkas slenka magnetiniame lauke 5 m/s greičiu. Magnetinės indukcijos vektorius yra statmenas laidininko judėjimo greičiui, o jo modulis lygus 8 mT. Apskaičiuokite laidininke indukuotą elektrovarą. (0,01 V)

6. Varinis laidininkas, kurio ilgis 0,2 m, o skerspjūvio plotas 0,017 mm^2, tolygiai slysta rėmeliu, į kurį įjungtas varžas (4.5.4 pav.). Varžo varža 2 Ω. Indukcijos vektorius $\vec{B}$ statmenas laidininko judėjimo greičiui $\vec{v}$. Apskaičiuokite varžu tekančios elektros srovės stiprį. (0,2 A)

4.5.4 pav.



4.6. Saviindukcija. Magnetinio lauko energija

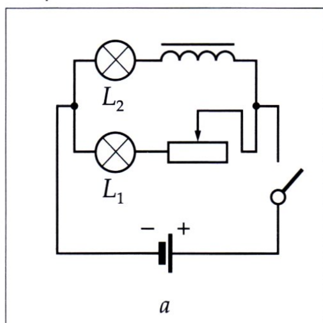
Pagrindinės sąvokos

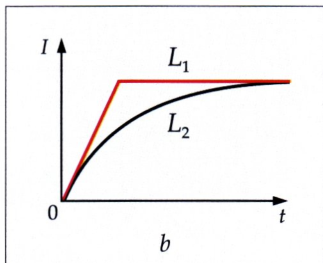
Saviindùkcija, induktyvùmas, magnètinio laũko enèrgija.

Saviindukcijos reiškinio samprata

Laidininke, kuris juda magnetiniame lauke, indukuojasi elektrovara. Ji atsiranda dėl išorinio magnetinio lauko poveikio. Tačiau elektrovara laidininke gali indukuotis ir tada, kai išorinio magnetinio lauko nėra. Pasirodo, ją gali sukurti laidininku tekančios kintamosios elektros srovės magnetinis laukas. Tai patvirtina bandymai. 4.6.1 paveiksle, *a*, pavaizduota elektrinė grandinė, sudaryta iš dviejų tarpusavyje lygiagrečiai sujungtų šakų. Vienoje šakoje yra elektros lemputė L_1 ir reostatas, kitoje – lemputė L_2 ir ritė. Įjungus jungiklį, pirma užsidega lemputė L_1. Bandymo pradžioje netgi susidaro įspūdis, kad lemputė L_2 perdegusi. Tačiau po tam tikro laiko įsižiebia ir ji. 4.6.1 paveiksle, *b*, parodyta, kaip kinta elektros srovės stipris abiejose lemputėse, įjungus jungiklį. Matome, kad lemputėje L_2 jis didėja lėčiau negu lemputėje L_1. Kodėl?

4.6.1 pav.





Norint atsakyti į šį klausimą, tenka prisiminti elektromagnetinės indukcijos reiškinį. Jį dar 1832 m. paaiškino amerikiečių mokslininkas Džozefas Henris (*Joseph Henry*). Rite tekant kintamajai elektros srovei, jos sukurtas magnetinis laukas taip pat kinta, o dėl to ritėje indukuojasi elektrovara. Aprašytą reiškinį Henris pavadino saviindukcija. Taigi ***saviindùkcija yra reiškinys, kai kintamasis magnetinis laukas indukuoja elektrovarą tame pačiame laidininke, kuriuo teka lauką sukūrusi elektros srovė***. Tuo metu atsiradusi elektrovara vadinama saviindukcijos elektrovara (E_s).

Saviindukcijos reiškinys vyksta 4.6.1 paveiksle, *a*, pavaizduotos elektrinės grandinės ritėje. Įjungus jungiklį, srovė grandinėje ima stiprėti. Kintant srovės stipriui, kinta ir jos sukurtas magnetinis laukas, kuris kerta ritės vijas. Žinome, kad, kintant magnetiniam laukui, atsiranda sūkurinis elektrinis laukas. Jo kryptį galime nustatyti pagal Lenco taisyklę: kai elektros

srovė grandinėje stiprėja, sūkurinis elektrinis laukas veikia priešinga kryptimi negu šaltinio sukurtas laukas. Vadinasi, jis priešinasi srovės stiprėjimui. Dėl to, įjungus jungiklį, srovė ne iš karto pasiekia didžiausią vertę, o laikui bėgant stiprėja tolydžiai (4.6.1 pav., *b*). Dėl šios priežasties lemputė L_2 įsižiebia vėliau negu lemputė L_1.

Saviindukcijos reiškinys vyksta ir išjungiant elektrinę grandinę – lemputė L_2 užgęsta vėliau negu lemputė L_1. Išjungus jungiklį, sūkurinis elektrinis laukas palaiko rite tekančią srovę, todėl srovė lempute L_2 nustoja tekėti ne iš karto.

Saviindukciją galima palyginti su inercija mechanikoje. Inercija neleidžia jėgos veikiamam kūnui akimirksniu įgyti tam tikrą greitį, antra vertus, kūno negalima staiga sustabdyti, net ir veikiant didele jėga.

Induktyvumas

Tekėdama laidininku, elektros srovė sukuria aplink jį magnetinį lauką. Jo indukcijos modulis B yra proporcingas srovės stipriui I ($B \sim I$). Kadangi magnetinis srautas Φ yra proporcingas magnetinės indukcijos moduliui B, galima teigti, kad jis yra proporcingas srovės stipriui:

$$\Phi = LI. \tag{4.12}$$

Formulėje parašytas proporcingumo koeficientas L vadinamas ***kòntūro induktyvumù***. Jis priklauso nuo kontūro matmenų, formos, be to, nuo terpės magnetinių savybių. Pavyzdžiui, įkišus geležinę šerdį, ritės induktyvumas padidėja.

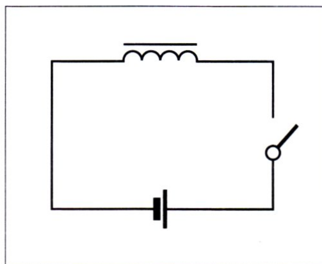
Induktyvumo apibrėžimas išplaukia iš elektromagnetinės indukcijos dėsnio:

$$E_s = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -L\frac{\Delta I}{\Delta t}. \tag{4.13}$$

Induktyvumas yra fizikinis dydis, kurio skaitinė vertė lygi saviindukcijos elektrovarai, atsirandančiai kontūre, kai srovės stipris per 1 s pakinta 1 A.

SI sistemoje induktyvumo matavimo vienetas vadinamas *henriù* ir žymimas H. 1 H lygus induktyvumui tokio laidininko, kuriame atsiranda 1 V saviindukcijos elektrovara, kai laidininku tekančios srovės stipris per 1 s pakinta 1 A.

Magnetinio lauko energija

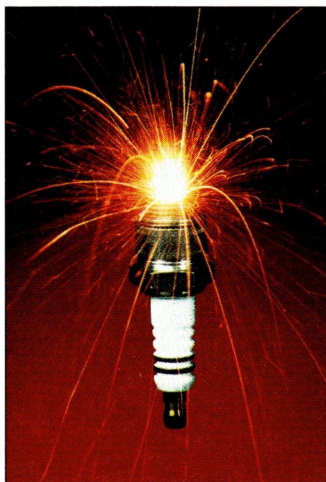


4.6.2 pav.

Išsiaiškinkime, kaip atsiranda magnetinio lauko energija. Įjungus jungiklį (4.6.2 pav.), ritėje vyksta saviindukcijos reiškinys, todėl šaltinio elektros srovės stipris ne iš karto įgyja didžiausią vertę. Stiprėjant elektros srovei, šaltinis atlieka darbą, įveikdamas sūkurinio elektrinio lauko jėgas. Dėl to magnetinio lauko energija didėja. Kuo stipresnė srovė teka grandine, tuo daugiau energijos sukaupia magnetinis laukas. Be to, magnetinio lauko energija priklauso nuo pačios ritės savybių: matmenų, vijų skaičiaus, medžiagos, iš kurios padaryta ritės viduje esanti šerdis. Šias ritės savybes apibūdina jos induktyvumas. Magnetinio lauko energijos W_m išraiška panaši į kinetinės energijos mechanikoje:

$$W_m = \frac{LI_m^2}{2}. \qquad (4.14)$$

4.6.3 pav.



Išjungiant elektrinę grandinę, magnetinio lauko sukaupta energija išsiskiria. Šį teiginį pagrįsime buitiniu pavyzdžiu. Kad vidaus degimo variklyje įtaisyta žvakė (4.6.3 pav.) skeltų kibirkštį, įtampa tarp jos elektrodų turi būti apie 1000 V. Automobilio akumuliatoriaus gnybtų įtampa tesiekia 12 V. Staigus įtampos padidėjimas aiškinamas saviindukcijos reiškiniu. Žvakės elektrinėje grandinėje yra įjungta didelio induktyvumo ritė (dròselis). Staiga išjungiant grandinę, ritės gnybtų įtampa padidėja iki 1000 V. Jos pakanka kibirkščiai tarp žvakės elektrodų šokti.

Aptarti pavyzdžiai rodo, kad, stiprėjant elektros srovei grandinėje, magnetinio lauko energija didėja. Srovės stipriui mažėjant, magnetinio lauko energija išsiskiria.

Klausimai ir užduotys

1. Ką vadiname saviindukcijos reiškiniu? Pateikite jo pavyzdžių.

2. Kodėl, sujungus grandinę (4.6.1 pav.), lemputė L_2 įsižiebia ne iš karto?

3. Kodėl, nutraukus grandinę (4.6.1 pav.), lemputė L_2 užgęsta ne tuoj pat?

4. Ką vadiname induktyvumu? Kokiais vienetais jis matuojamas?

5. Į ritę buvo įkišta geležinė šerdis. Kaip pakito ritės induktyvumas? Atsakymą pagrįskite.

6. Paaiškinkite, kaip ir kada atsiranda magnetinio lauko energija. Kur ji dingsta išjungus elektrinę grandinę?

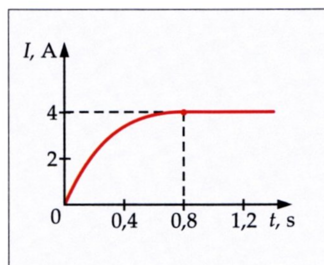
7. Ar gali vykti saviindukcija ritėje, kai ja teka nuolatinė elektros srovė? Atsakymą pagrįskite.

8. Palyginkite saviindukcijos ir elektromagnetinės indukcijos reiškinius. Kuo jie panašūs ir kuo skiriasi?

9. 5 A stiprio elektros srovė, tekėdama rite, sukuria 0,2 Wb magnetinį srautą. Apskaičiuokite ritės induktyvumą. (0,04 H)

10. Tekėdama rite, 4 A stiprio elektros srovė sukuria 12 mWb magnetinį srautą. Apskaičiuokite ritės induktyvumą. Nurodykite, ar jis priklauso nuo elektros srovės stiprio ritėje. (3 mH)

11. 4.6.4 paveiksle pavaizduota, kaip kinta srovės stipris ritėje, sujungus elektrinę grandinę. Ritės induktyvumas 8 H. Apskaičiuokite saviindukcijos elektrovarą. (40 V)



4.6.4 pav.

12. Per kiek laiko 240 mH induktyvumo ritės vijomis tekanti srovė sustiprėja nuo nulio iki 11,4 A, jeigu tuo metu ritėje atsiranda 30 V saviindukcijos elektrovara? (Per 91 ms)

13. Ritę, kuria teka 4 A stiprio srovė, kerta 0,01 Wb magnetinis srautas. Ritė suvyta iš 200 vijų. Apskaičiuokite magnetinio lauko energiją. (4 J)

4.7. Transformatorius

Elektromagnetinės indukcijos taikymas transformatoriuose

Pagrindinės sąvokos

Transformãtorius, pirmìnė apvijà, antrìnė apvijà, transformãcijos koeficieñtas.

Apie šį prietaisą jau esate girdėję. Transformatoriai statomi elektros perdavimo linijose, įvairiuose buitiniuose prietaisuose (televizoriuose, radijo imtuvuose) ir pan. ***Transformãtoriumi*** vadinamas įtaisas, nau-

dojamas kintamajai įtampai aukštinti arba žeminti. Paprasčiausias transformatorius sudarytas iš geležinės šerdies ir dviejų ričių (4.7.1 pav., *a*). Jo (su šerdimi) sutartinis ženklas pavaizduotas 4.7.1 paveiksle, *b*. Viena tų ričių, vadinama ***pirminè ãpvija***, jungiama prie kintamosios įtampos šaltinio. Prie kitos ritės, arba ***antrìnės apvijõs***, jungiami elektros energiją vartojantys prietaisai, trumpiau vadinami ãpkrova.

Pirmine apvija tekanti kintamoji elektros srovė sukuria kintamąjį magnetinį srautą, kuris kiekvienoje pirminės apvijos vijoje sužadina saviindukcijos elektrovarą e. Kai pirminę apviją sudaro N_1 vijų, jose atsiradusią saviindukcijos elektrovarą galima išreikšti taip:

$$E_1 = eN_1. \qquad (4.15)$$

Tas pats kintamasis magnetinis srautas kerta ir antrinę apviją, sukeldamas joje indukuotąją elektrovarą. Jeigu antrinė apvija turi N_2 vijų, tai

$$E_2 = eN_2. \qquad (4.16)$$

4.15 lygybę padaliję panariui iš 4.16, gauname:

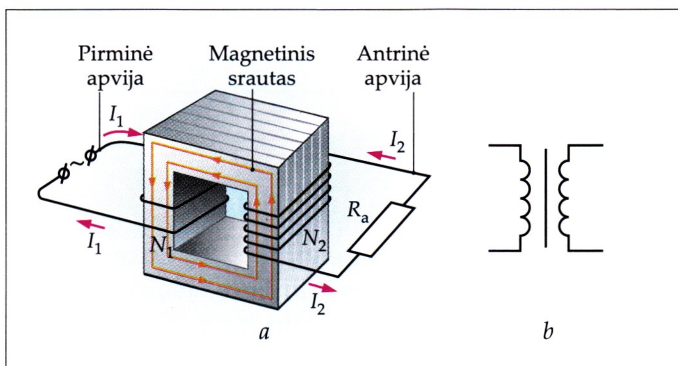
$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}. \qquad (4.17)$$

Taigi saviindukcijos elektrovaros pirminėje apvijoje ir indukuotosios elektrovaros antrinėje apvijoje santykis lygus jų vijų skaičių santykiui.

Kai transformatoriaus apvijų varža maža, $E_1 \approx U_1$, o $E_2 \approx U_2$. Tada iš 4.17 lygybės išeina, kad apvijų įtampos yra tiesiogiai proporcingos vijų skaičiui:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = k. \qquad (4.18)$$

4.7.1 pav.



4.18 lygybė galioja tik tada, kai prie transformatoriaus antrinės apvijos neprijungtas joks elektros energijos imtuvas.

Įtampos kitimą transformatoriuje apibūdina ***transformãcijos koeficieñtas k*** (4.18). Jis lygus įtampų pirminėje ir antrinėje apvijoje santykiui ir priklauso nuo vijų skaičiaus jose. Jeigu $k > 1$, transformatorius yra žẽminamasis, jeigu $k < 1$ – áukštinamasis. Kiekvieną transformatorių galima naudoti kaip aukštinamąjį arba kaip žeminamąjį, nelygu, kaip jis įjungtas į grandinę.

Prie antrinės apvijos galų prijungus apkrovą, ja ima tekėti kintamoji elektros srovė. Jos galia abiejose apvijose yra beveik vienoda. Galios nuostoliai siekia vos 2–3 %, todėl

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}. \tag{4.19}$$

Vadinasi, jei aukštinamasis transformatorius k kartų padidina įtampą, tai tiek pat kartų sumažina elektros srovės stiprį. Ir atvirkščiai – kiek kartų sumažina įtampą, tiek pat kartų padidina srovės stiprį.

Klausimai ir užduotys

1. Kokį elektros įtaisą vadiname transformatoriumi?

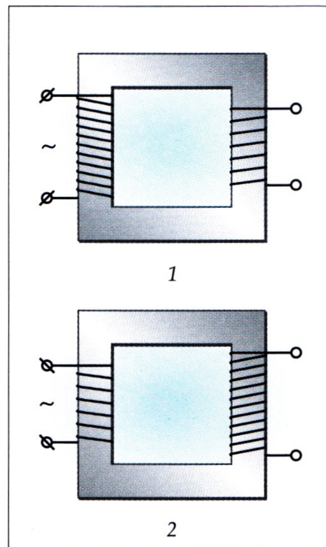
2. Apibrėžkite transformacijos koeficientą. Nurodykite, kuo skiriasi žeminamojo ir aukštinamojo transformatoriaus transformacijos koeficientas.

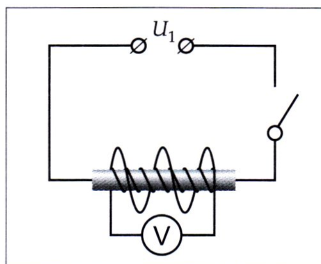
3. 4.7.2 paveiksle pavaizduoti du transformatoriai. Nurodykite, kuris iš jų yra aukštinamasis, o kuris – žeminamasis. Apskaičiuokite kiekvieno jų transformacijos koeficientą.

4. Pirminė transformatoriaus apvija turi 1000 vijų ir yra prijungta prie 120 V įtampos šaltinio. Antrinėje apvijoje susukta 100 vijų. Apskaičiuokite:
a) transformacijos koeficientą; (10)
b) antrinės apvijos gnybtų įtampą. (12 V)

5. Žeminamasis transformatorius, kurio transformacijos koeficientas 10, įjungtas į 220 V įtampos tinklą. Antrinės apvijos varža lygi 0,2 Ω, o naudingosios apkrovos – 2 Ω. Apskaičiuokite transformatoriaus išvadų įtampą. (20 V)

4.7.2 pav.





4.7.3 pav.

6. Prie srovės šaltinio, kurio įtampa U_1, prijungta ritė, o aplink ją apvyniota keletas vijų (4.7.3 pav.). Remdamiesi žiniomis apie transformatorių, paaiškinkite, kaip būtų galima nustatyti ritės vijų skaičių, jos neišvyniojant.

4.8. Elektromagnetinė indukcija technikoje ir buityje

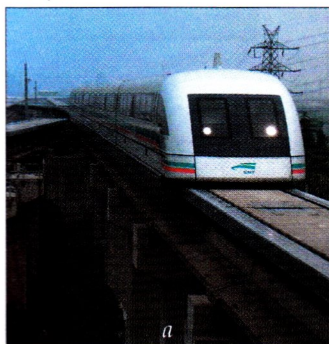
Elektromagnetinės indukcijos reiškinys dažnai taikomas technikoje. Aptarkime keletą pavyzdžių.

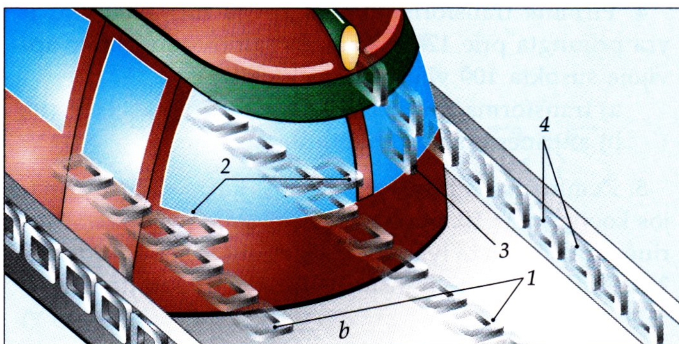
Elektromagnetinės indukcijos taikymas transporte

Elektromagnetine indukcija pagrįstas magnetinių pagalvių, naudojamų šiuolaikiniuose traukiniuose, veikimas (4.8.1 pav., *a*). Vagoną nuo kelio dangos pakeliančią magnetinę pagalvę sudaro ričių sistema. Aliumininės ritės *1* (4.8.1 pav., *b*) įtvirtinamos kelio dangoje. Panašios superlaidžios ritės 2 įmontuojamos ir vagono dugne. Jomis paleista elektros srovė sukuria magnetinį lauką, kuris indukuoja srovę kelio dangoje įtaisytose ritėse. Dėl magnetinės ričių sąveikos vagonas pakyla nuo kelio.

Vagoną judėti verčia taip pat elektromagnetinė indukcija. Vagono šonuose ir kelio dangos borteliuose įrengiama ričių sistema. Kai prie vagono šonų pritai-

4.8.1 pav.

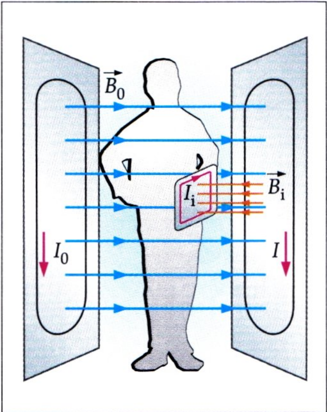




sytomis superlaidžiomis ritėmis *3* ima tekėti srovė, jos sukurtas magnetinis laukas indukuoja srovę bortelių ritėse *4*. Dėl magnetinės sąveikos vagonas pradeda judėti.

Elektromagnetinės indukcijos taikymas apsaugos sistemose

Elektromagnetinės indukcijos reiškiniu grindžiamas metalo detektorių veikimas. Tokie detektoriai įrengiami oro uostuose, dideliuose prekybos centruose ir kitur. Viename vartų šone įtaisoma ritė, kuria teka elektros srovė I_0 (4.8.2 pav.). Ji sukuria magnetinį lauką $\vec{B}_0$, o šis – elektros srovę I_i metaliniame laidininke. Indukuotosios srovės I_i sužadintas magnetinis laukas $\vec{B}_i$ savo ruožtu sukelia srovę I ritėje, įtaisytoje kitame vartų šone. Tekant šiai srovei, pradeda veikti garsinį signalą skleidžiantis įtaisas.



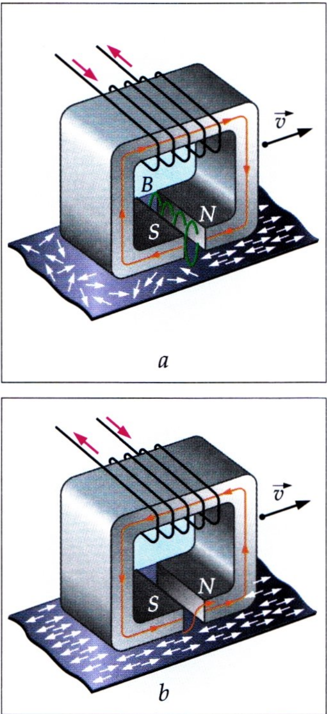
4.8.2 pav.

Elektromagnetinės indukcijos taikymas garsui įrašyti ir atkurti

Jau seniai buvo žinoma, kad kai kurios medžiagos „prisimena“ kryptį, kuria jos buvo įmagnetintos. XIX a. pabaigoje Dānijos telefonų kompanijos inžinierius Valdemaras Poulsenas (*Valdemar Poulsen*) magnetines medžiagas panaudojo žmogaus balsui įrašyti ir atkurti. Tąsyk kintamasis magnetinis laukas buvo įrašytas į plieninę vielą. Toks garsas turėjo vieną didelį trūkumą – jam reikėjo sunkios ir ilgos plieninės vielos arba juostelės. 1927 m. austrų chemikas Fricas Pfleumeris (*Fritz Pfleumer*) pasiūlė naują garso įrašymo technologiją – popierinę juostelę, impregnuotą magnetiniais milteliais.

Dabar garsui įrašyti naudojamos magnetinės juostos ir plonos magnetinės plėvelės. Magnetinė juosta gaminama iš lankstaus sluoksnio, padengto magnetiniu laku. Kaip lakas naudojamas geležies oksidas, kobalto lydiniai. Garsas įrašomas į juostą, panaudojant elektromagnetą, kurio magnetinis laukas kinta į taktą su garso virpesiais (4.8.3 pav., *a*). Juostai slenkant po magnetine galvute, atskiros jos dalys įsimagnetina. Atkuriant garsą, įmagnetinta juosta sužadina galvutėje elektrinius signalus (4.8.3 pav., *b*).

4.8.3 pav.

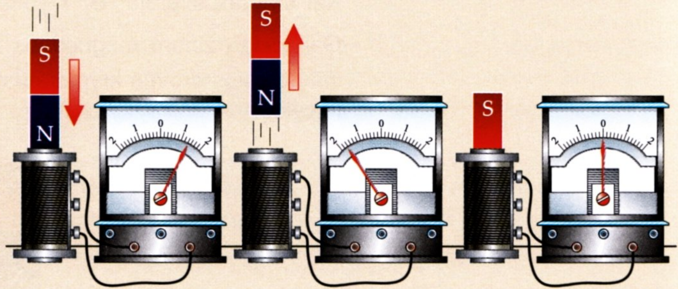
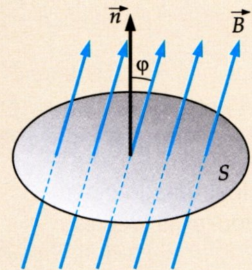
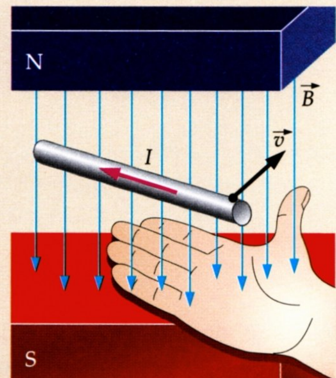


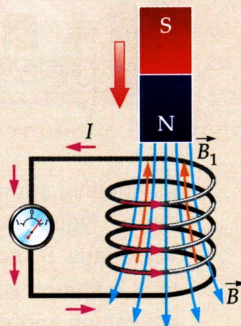
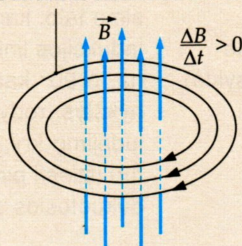

4.8.4 pav.

Panašiu principu informacija įrašoma ir į kompiuterio atmintinę. Šiuo metu daugiausia naudojamos diskinės ir juostinės magnetinės atmintinės. Informacija į jas perkeliama atsižvelgiant į jau minėtą magnetinio paviršiaus įrašymo efektą. Tam naudojama įrašymo galvutė, kurią sudaro ritė su oro tarpeliu. Įrašant informaciją, pro šį tarpelį einantis magnetinis laukas kerta įrašymo terpės paviršių, įmagnetindamas mažą jo dalį.

XX a. aštuntajame dešimtmetyje magnetinis garso įrašymo principas pradėtas taikyti buitinėse vaizdo kamerose, kreditinių kortelių (4.8.4 pav.), magnetinės kortelės pavidalo raktų, telefono ir kitokių magnetinių kortelių gamyboje. Namuose naudojami automatiniai telefono atsakikliai, turintys magnetinę atmintį. Juose žodžius, skaičius, vaizdus ir garsus saugo skirtingomis kryptimis įmagnetinti domenai.

Skyriaus „Elektromagnetinė indukcija" apibendrinimas

Elektromagnetinė indukcija	Elektros srovės atsiradimas uždarame laidžiame kontūre, kintant magnetinės indukcijos linijų, kertančių jo ribojamą plotą, skaičiui, vadinamas elektromagnetine indukcija. 
Magnetinis srautas	Magnetiniu srautu vadinamas fizikinis dydis, lygus magnetinės indukcijos vektoriaus $\vec{B}$ modulio, paviršiaus ploto S ir kampo φ tarp vektoriaus $\vec{B}$ ir paviršiaus normalės $\vec{n}$ kosinuso sandaugai:  $$\Phi = BS\cos\varphi.$$ Magnetinio srauto matavimo vienetas yra vėberis (Wb): $$1\ \text{Wb} = 1\ \text{T} \cdot 1\ \text{m}^2 = 1\ \text{T} \cdot \text{m}^2.$$
Lenco taisyklė	Indukuotoji srovė uždaru kontūru teka tokia kryptimi, kad jos sukurtas magnetinis laukas priešinasi išorinio magnetinio lauko kitimui, sukėlusiam šią srovę.
Indukuotosios srovės krypties nustatymas judančiame laidininke (dešinės rankos taisyklė)	Jeigu dešinę ranką laikysime taip, kad magnetinės indukcijos linijos eitų į delną, o 90° kampu ištiestas nykštys rodytų laidininko judėjimo kryptį, tai kiti keturi ištiesti pirštai rodys indukuotosios srovės kryptį. 

Indukuotosios srovės krypties nustatymas nejudančiame laidininke	• Iš pradžių nustatoma išorinio magnetinio lauko indukcijos linijų $\vec{B}$ kryptis. • Paskui išsiaiškinama, kaip kinta ritės vijas kertantis magnetinis srautas: stiprėja (artinant magnetą prie ritės) ar silpnėja (tolinant magnetą nuo ritės). • Tada, taikant Lenco taisyklę, nustatoma ritėje indukuotos srovės sukurto magnetinio lauko indukcijos linijų $\vec{B}_1$ kryptis. Kai srautas stiprėja, $\vec{B}_1$ kryptis yra priešinga $\vec{B}$ krypčiai. • Galiausiai, žinant magnetinės indukcijos linijų $\vec{B}_1$ kryptį, indukuotosios srovės kryptis nustatoma pagal dešinės rankos taisyklę. 
Elektromagnetinės indukcijos dėsnis	Uždarame kontūre indukuota elektrovara (E_i) yra tiesiogiai proporcinga kontūrą kertančio magnetinio srauto (Φ) kitimo greičiui: $$E_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$ $[E_i]$ = 1 V.
Sūkurinis elektrinis laukas	Sūkurinis elektrinis laukas yra kintamojo magnetinio lauko kuriamas elektrinis laukas. Sūkurinio elektrinio lauko jėgų linijos yra uždaros kreivės. 
Sūkurinės srovės	Sūkurinės srovės – tai uždaros elektros srovės, kurias stambiuose laidininkuose sukelia sūkurinis elektrinis laukas.

Elektrovara, indukuota judančiame laidininke	Elektrovara (E_i), indukuota judančiame laidininke, apskaičiuojama pagal formulę $$E_i = B\Delta l v \sin\alpha;$$ čia B – magnetinio lauko indukcijos modulis, Δl – laidininko ilgis, v – laidininko judėjimo greitis, α – kampas tarp magnetinės indukcijos vektoriaus ir laidininko judėjimo greičio vektoriaus.
Saviindukcija	Saviindukcija yra reiškinys, kai kintamasis magnetinis laukas indukuoja elektrovarą tame pačiame laidininke, kuriuo teka lauką sukūrusi elektros srovė.
Induktyvumas	Induktyvumo apibrėžimas išplaukia iš elektromagnetinės indukcijos dėsnio, taikomo saviindukcijos reiškiniui: $$E_s = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -L\frac{\Delta I}{\Delta t}.$$ Induktyvumas L yra fizikinis dydis, kurio skaitinė vertė lygi saviindukcijos elektrovarai, atsirandančiai kontūre, kai srovės stipris per 1 s pakinta 1 A. Induktyvumo matavimo vienetas yra henris (H). 1 H lygus induktyvumui tokio laidininko, kuriame atsiranda 1 V saviindukcijos elektrovara, kai laidininku tekančios srovės stipris per 1 s pakinta 1 A.
Transformatorius	Transformatorius yra įtaisas, naudojamas kintamajai įtampai aukštinti arba žeminti.
Transformacijos koeficientas	Transformacijos koeficientas – įtampos kitimą apibūdinantis dydis, lygus įtampų pirminėje (U_1) ir antrinėje (U_2) apvijoje santykiui. Jis priklauso nuo vijų skaičiaus apvijose: $$k = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}.$$ • Kai $k > 1$, transformatorius yra žeminamasis. • Kai $k < 1$, transformatorius yra aukštinamasis.



E l e k t r a

5 Elektromagnetiniai virpesiai

Šiame skyriuje daugiau sužinosite apie laisvuosius elektromagnetinius virpesius, vykstančius virpesių kontūre, taip pat priverstinius elektromagnetinius virpesius – kintamąją elektros srovę, be to, susipažinsite su elektros energijos gamyba ir naudojimu, gvildensite šiuolaikines elektros energetikos problemas.

5.1. Laisvieji elektromagnetiniai virpesiai. Virpesių kontūras

Pagrindinės sąvokos

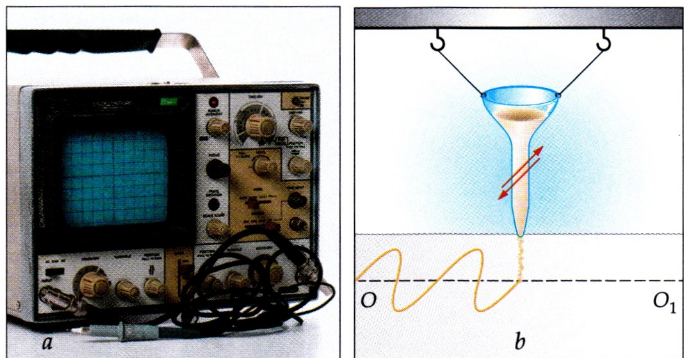
Elektromagnètiniai virpesiaĩ,
laisvíeji elektromagnètiniai virpesiaĩ,
virpesių̃ kòntūras.

Elektromagnetiniai virpesiai

Mokydamiesi mechanikos, sužinojote apie mechaninį svyravimą – periodišką kūno padėties kitimą pusiausvyros padėties atžvilgiu laikui bėgant. Mus supančioje aplinkoje mechaninio svyravimo pavyzdžių apstu: svyruoja sieninio laikrodžio svyruoklė, sūpuoklės, krūtinės ląsta kvėpuojant, akių vokai mirksint ir pan. Tačiau yra ir kitokios rūšies svyravimų, vadinamųjų elektromagnetinių virpesių. ***Periodiškas arba beveik periodiškas elektros krūvio, srovės stiprio ir įtampos kitimas vadinamas elektromagnètiniais virpesiaĩs.*** Jie vyksta radijo imtuve, televizoriuje, grotuve, vaizdo leistuve ir kituose radiotechniniuose prietaisuose.

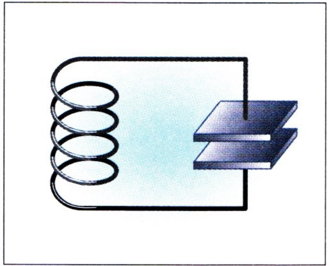
Stebėti tokius virpesius ganėtinai sudėtinga, nes nematome, kaip įsikrauna ar išsikrauna kondensatorius, kaip kinta ritėje elektros srovės kryptis ir stipris. Be to, nepaprastai didelis jų kitimo dažnis. Elektromagnetinius virpesius galima stebėti specialiu prietaisu (5.1.1 pav., *a*), kuris vadinamas oscilografù (lot. *oscillatio* – svyravimas, gr. *graphō* – rašau). Prie jo gnybtų prijungę kintamąją įtampą, ekrane matome virpesių skleistinę, panašią į tą, kurią ant tolygiai ju-

5.1.1 pav.



dančio popieriaus lapo palieka svyruojantis piltuvėlis su smėliu (5.1.1 pav., *b*).

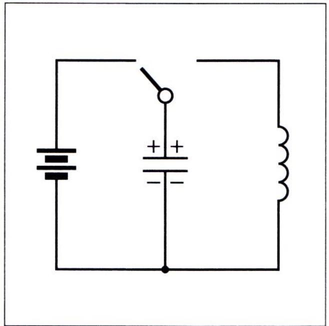
Kaip ir mechaniniai svyravimai, elektromagnetiniai virpesiai skirstomi į laisvúosius ir priverstiniùs. Pirmiausia išnagrinėkime laisvuosius. Virpesiai, kurie atsiranda išvedus elektrinę sistemą iš pusiausvyros padėties, vadinami ***laisvaĩsiais elektromagnètiniais virpesiaĩs***. Juos paprasčiausia sukelti ***virpesių̃ kòntūre***. Taip vadinama sistema, susidedanti iš kondensatoriaus ir induktyvumo ritės (5.1.2 pav.).



5.1.2 pav.

Laisvųjų elektromagnetinių virpesių atsiradimas kontūre

Prisiminkime, kaip virpesių kontūre atsiranda laisvieji elektromagnetiniai virpesiai. Norint juos sukelti, reikia iš pradžių kondensatorių prijungti prie baterijos (5.1.3 pav.). Tai tolygu matematinės svyruoklės patraukimui iš pusiausvyros padėties. Kai kondensatorius įsikrauna, jo plokštelės dvikrypčiu jungikliu prijungiamos prie ritės galų. Periodo pradžioje ($t = 0$) kondensatoriaus krūvis (q_m), taigi ir įtampa (U_m) tarp jo plokštelių, yra didžiausia[1] (5.1.4 pav., *a*). Elektros srovė virpesių kontūru neteka ($i = 0$).

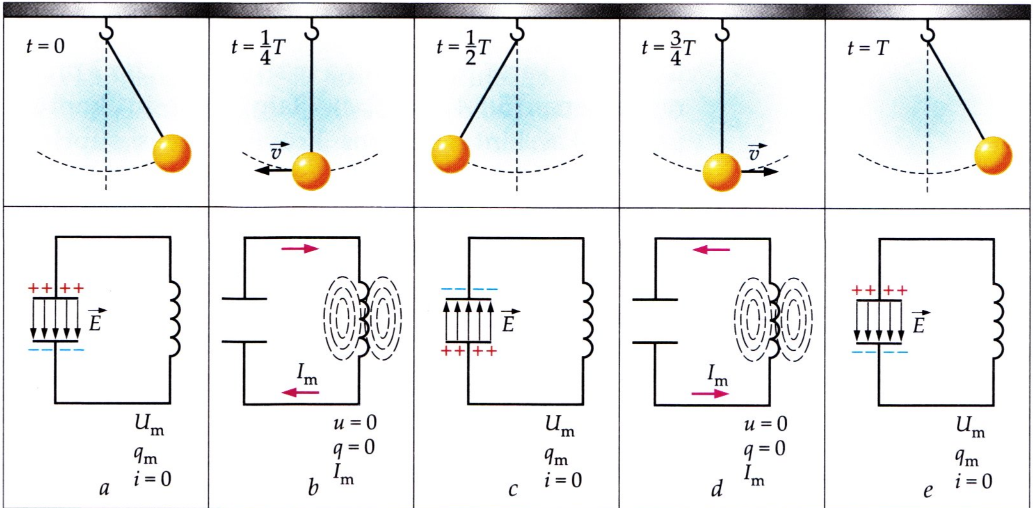


5.1.3 pav.

Per pirmąjį ketvirtį periodo $\left(0 < t < \frac{1}{4}T\right)$ kondensatorius pamažu išsikrauna, jo plokštelėse sukauptas elektros krūvis, o kartu ir įtampa mažėja. Elektros

[1] q_m – didžiausias elektros krūvis, U_m – didžiausia įtampa.

5.1.4 pav.



srovė kontūre stiprėja, tačiau dėl saviindukcijos ritėje ne iš karto pasiekia didžiausią vertę. Po ketvirčio periodo $\left(t=\frac{1}{4}T\right)$ kondensatorius išsikrauna visiškai (q = 0), o srovės stipris kontūre pasidaro didžiausias[1] (I_m) (5.1.4 pav., *b*). Analogiškai matematinės svyruoklės rutuliukas iš inercijos didžiausiu greičiu pereina pusiausvyros padėtį.

Kai kondensatorius išsikrauna ir išorinis elektrinis laukas išnyksta, srovė ritėje ima silpnėti. Tai trunka ketvirtį periodo $\left(\frac{1}{4}T<t<\frac{1}{2}T\right)$. Dėl saviindukcijos srovė negali išnykti akimirksniu. Saviindukcijos elektrovara sukuria tos pačios krypties srovę, kuri kondensatoriaus plokšteles įelektrina priešingo ženklo krūviais (5.1.4 pav., *c*). Po pusės periodo $\left(t=\frac{1}{2}T\right)$ kondensatorius vėl įsikrauna. Dabar plokštelėse sukauptas krūvis yra didžiausias (q_m), tačiau jo ženklas, palyginti su pradine padėtimi, priešingas. Elektros srovės stipris ritėje pasidaro lygus nuliui. Matematinės svyruoklės rutuliukas tuo momentu yra labiausiai nutolęs nuo pusiausvyros padėties, tik į priešingą pusę negu svyravimo pradžioje.

Per trečiąjį ketvirtį periodo $\left(\frac{1}{2}T< t<\frac{3}{4}T\right)$ kondensatorius vėl pamažėle išsikrauna. Srovė kontūre stiprėja, o jos kryptis pasikeičia į priešingą (5.1.4 pav., *d*). Per paskutinį ketvirtį periodo $\left(\frac{3}{4}T < t< T\right)$ kondensatorius dar kartą persikrauna ir sistema grįžta į pradinę būseną (5.1.4 pav., *e*). Taip virpesių kontūre periodiškai kinta elektros krūvis, srovės stipris ir įtampa – vyksta elektromagnetiniai virpesiai.

Šio proceso metu vienos rūšies energija virsta kitos rūšies energija. Kai kondensatorius yra įkrautas iki galo, visa sistemos energija lygi kondensatoriaus elektrinio lauko energijai:

$$W_e=\frac{q_m U_m}{2}. \qquad (5.1)$$

Kondensatoriui išsikraunant, elektrinio lauko energija virsta magnetinio lauko energija. Srovei stiprė-

[1] I_m – didžiausias elektros srovės stipris.

jant, ši energija didėja. Kai kondensatorius visiškai išsikrauna, elektrinio lauko energija pasidaro lygi nuliui, o srovės stipris ir magnetinio lauko energija įgyja didžiausią vertę

$$W_{\mathrm{m}} = \frac{LI_{\mathrm{m}}^2}{2}; \qquad (5.2)$$

čia L – ritės induktyvumas. Pilnutinė elektromagnetinė virpesių kontūro energija W bet kuriuo laiko momentu lygi elektrinio ir magnetinio lauko energijų sumai, be to, lygi energijai, kuri buvo suteikta virpesių kontūrui pradiniu momentu, įkraunant kondensatorių:

$$W = \frac{q^2}{2C} + \frac{Li^2}{2} = \frac{q_{\mathrm{m}}U_{\mathrm{m}}}{2}. \qquad (5.3)$$

Jei virpesių kontūro varža R lygi nuliui, pilnutinė elektromagnetinė jo energija nekinta. Priešingu atveju ji mažėja, o elektromagnetiniai virpesiai slopsta.

Klausimai ir užduotys ??

1. Ką vadiname elektromagnetiniais virpesiais? Kokie elektromagnetiniai virpesiai vadinami laisvaisiais?

2. Kodėl, kontūre vykstant elektromagnetiniams virpesiams, kondensatoriaus plokštelės po pusės periodo įgyja priešingo ženklo krūvį?

3. Kuo elektromagnetiniai virpesiai kontūre panašūs į matematinės svyruoklės svyravimą?

4. Virpesių kontūro ritės induktyvumas 0,2 H, o srovės stiprio amplitudė 40 mA. Apskaičiuokite kondensatoriaus elektrinio lauko ir ritės magnetinio lauko energiją tuo momentu, kai srovės stiprio momentinė vertė yra perpus mažesnė už amplitudinę vertę. (120 μJ; 40 μJ)

5. Kuriai periodo daliai praėjus nuo kondensatoriaus išsikrovimo momento, kondensatoriaus elektrinio lauko energija susilygina su ritės magnetinio lauko energija?

6*. Virpesių kontūro ritės induktyvumas 16 mH, o kondensatoriaus elektrinė talpa 8 mF. Kai kondensatoriaus gnybtų įtampa yra 80 V, rite teka 1,8 A stiprio elektros srovė. Kokio dydžio elektros krūvis susikaupia kondensatoriuje, kai elektros srovė rite neteka? (0,64 C)

5.2. Elektros krūvio ir srovės stiprio harmoniniai virpesiai

Pagrindinės sąvokos

Laisvų̃jų elektromagnètinių virpesių̃ periòdas,

elèktros krū̃vio harmòniniai virpesiaĩ,

elèktros srovė̃s harmòniniai virpesiaĩ.

Mechaninių svyravimų ir elektromagnetinių virpesių panašumas

XI klasėje, nagrinėdami mechaninius svyravimus, sužinojote, kad svyruojančio kūno koordinatė x, taigi ir greičio projekcija v_x, kinta periodiškai (žr. „Fiziką 11", išplėstinio kurso antrąją knygą, p. 58). Dabar išsiaiškinome, jog, vykstant elektromagnetiniams virpesiams, periodiškai kinta kondensatoriaus krūvis q ir elektros srovės stipris i (žr. 5.1.4 pav.). Kas lemia mechaninių svyravimų ir elektromagnetinių virpesių panašumą? Atsakyti nesunku lyginant sąlygas, kuriomis atsiranda mechaniniai svyravimai ir elektromagnetiniai virpesiai.

Svyruojantį pasvarą į pusiausvyros padėtį grąžina tamprumo jėga F_x, proporcinga pasvaro nuokrypiui ($F_x = -kx$). Koeficientas k – spyruoklės standumo koeficientas. Vykstant elektromagnetiniams virpesiams, kondensatorius periodiškai įsikrauna ir išsikrauna. Įtampa U tarp jo plokštelių kinta. Ši įtampa yra proporcinga krūviui q.

Panašumų galima rasti ir daugiau. Pavyzdžiui, palyginę patraukto iš pusiausvyros padėties pasvaro potencinę energiją $\left(E_\text{p} = \frac{kx_\text{m}^2}{2}\right)$ su įkrauto kondensatoriaus energija $\left(W_\text{e} = \frac{q_\text{m}U_\text{m}}{2} = \frac{q_\text{m}^2}{2C}\right)$, pastebime, kad koeficientą k atitinka dydis $\frac{1}{C}$, o pradinę koordinatę x_m – krūvis q_m. Palyginkime pasvaro kinetinės energijos $\left(E_\text{k} = \frac{mv_x^2}{2}\right)$ ir elektros srovės energijos $\left(W_\text{m} = \frac{Li^2}{2}\right)$ išraiškas. Matome, kad ritės induktyvumas L mechanikoje atitinka pasvaro masę m.

Svyruojantis pasvaras iš inercijos pereina pusiausvyros padėtį. Elektros srovei virpesių kontūre taip

pat būdinga inercija – dėl saviindukcijos ji stiprėja tolydžiai ir išnyksta ne staiga.

Aptartus mechaninių svyravimų ir elektromagnetinių virpesių panašumus apibendrinkime lentele:

Mechaninius svyravimus apibūdinantys dydžiai	Elektromagnetinius virpesius apibūdinantys dydžiai
Koordinatė x	Krūvis q
Greitis v_x	Srovės stipris i
Masė m	Induktyvumas L
Spyruoklės standumo koeficientas k	Kondensatoriaus talpai atvirkščias dydis $\frac{1}{C}$
Potencinė energija $E_p = \frac{kx^2}{2}$	Elektrinio lauko energija $W_e = \frac{q^2}{2C}$
Kinetinė energija $E_k = \frac{mv_x^2}{2}$	Magnetinio lauko energija $W_m = \frac{Li^2}{2}$

Laisvųjų elektromagnetinių virpesių periodas

Remdamiesi laisvųjų mechaninių svyravimų ir elektromagnetinių virpesių analogija, galime išsiaiškinti, nuo ko priklauso šių virpesių periodas. Žinome, kad spyruoklinės svyruoklės svyravimo savasis dažnis priklauso nuo spyruoklės standumo koeficiento ir pritvirtinto pasvaro masės:

$$\nu_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}}; \tag{5.4}$$

čia k – spyruoklės standumo koeficientas, m – pasvaro masė. Kadangi koeficientas k ekvivalentus dydžiui $\frac{1}{C}$, o masė m – induktyvumui L, tai laisvųjų elektromagnetinių virpesių kampinis dažnis[1]

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}. \tag{5.5}$$

Tada šių virpesių periodas

$$T = 2\pi\sqrt{LC}. \tag{5.6}$$

Šią formulę 1853 m. išvedė anglų mokslininkas Viljamas Tomsonas (*William Thomson*), todėl ji vadi-

[1] Fizikoje ir technikoje kampinio dažnio (ω) sąvoka vartojama dažnai. Kampinis dažnis rodo, kiek kartų kūnas susvyruoja per 2π sekundžių. Kampinį dažnį ω ir svyravimo dažnį ν sieja lygybė $\omega = 2\pi\nu$. Toliau kampinį dažnį vadinsime tiesiog dažniu.

nama Tomsono formule. Iš jos matyti, kad laisvųjų elektromagnetinių virpesių periodas yra tiesiogiai proporcingas kvadratinei šakniai iš ritės induktyvumo ir kondensatoriaus talpos. Didėjant ritės induktyvumui (L), elektros srovė stiprėja ir silpnėja lėčiau. Vadinasi, elektromagnetiniai virpesiai lėtėja, t. y. jų periodas didėja. Kuo didesnė kondensatoriaus talpa (C), tuo daugiau laiko reikia kondensatoriui pakartotinai įkrauti. Dėl to, didėjant talpai, elektromagnetinių virpesių periodas didėja.

Elektros krūvio ir srovės stiprio harmoniniai virpesiai

Remiantis mechaninių svyravimų ir elektromagnetinių virpesių dėsningumų panašumu, nesunku gauti lygtį, apibūdinančią elektros krūvio kitimą virpesių kontūre. Harmoningai svyruojančio kūno koordinatė x laikui bėgant kinta pagal dėsnį, reiškiamą formule

$$x = x_m \cos(\omega_0 t). \tag{5.7}$$

Kondensatoriaus elektros krūvis q laikui bėgant kinta pagal tą patį dėsnį:

$$q = q_m \cos(\omega_0 t); \tag{5.8}$$

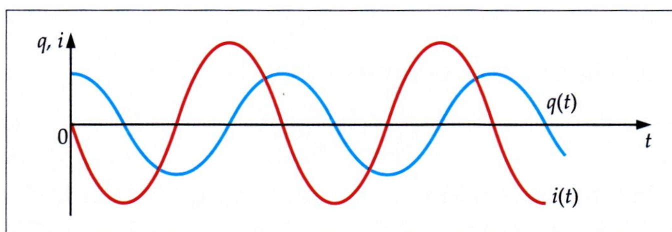
čia q_m – elektros krūvio virpesių amplitudė. Elektros srovės stiprio virpesiai pralenkia krūvio virpesius dydžiu $\frac{\pi}{2}$ (žr. 5.1.4 pav.), todėl

$$i = I_m \cos\left(\omega_0 t + \frac{\pi}{2}\right). \tag{5.9}$$

Elektros krūvio ir srovės stiprio priklausomybė nuo laiko grafiškai pavaizduota 5.2.1 paveiksle.

Elektros srovės stiprio priklausomybės nuo laiko išraišką (5.9) galima gauti kitu būdu – remiantis žiniomis apie išvestinę. Iš matematikos žinome, kad bet kokio dydžio kitimo greitis yra to dydžio išves-

5.2.1 pav.



tinė laiko atžvilgiu. Kadangi srovės stipris rodo, kaip greitai kinta elektros krūvis, tai elektros krūvio išvestinė laiko atžvilgiu lygi elektros srovės stipriui tam tikru laiko momentu (momentinei vertei):

$$q' = i. \quad (5.10)$$

Tada

$$i = q' = (q_m \cos(\omega_0 t))' = -q_m \omega_0 \sin(\omega_0 t) = \\ = I_m \cos\left(\omega_0 t + \frac{\pi}{2}\right). \quad (5.11)$$

Gauta lygtis sutampa su 5.9 išraiška. Iš 5.11 lygties matyti, kad elektros srovės stiprio virpesių amplitudė

$$I_m = q_m \omega_0. \quad (5.12)$$

Dėl energijos nuostolių virpesiai realiame kontūre yra slopinamieji. Todėl laikui bėgant elektros srovės stiprio virpesių amplitudė mažėja.

Klausimai ir užduotys ??

1. Kaip susijusios elektros krūvio ir srovės stiprio virpesių amplitudės, kai kondensatorius išsikrauna per ritę?

2. Kaip ir kiek kartų pakis laisvųjų elektromagnetinių virpesių dažnis, kai kontūro kondensatoriaus talpa padidės 36 kartus, o ritės induktyvumas sumažės 4 kartus? (Sumažės 3 kartus)

3. Virpesių kontūras sudarytas iš 500 pF talpos kondensatoriaus ir 5 μH induktyvumo ritės. Apskaičiuokite kontūre vykstančių virpesių periodą. ($3{,}14 \cdot 10^{-7}$ s)

4. Kokio induktyvumo ritę reikia įjungti į virpesių kontūrą, norint gauti 20 MHz dažnio laisvuosius virpesius, kai kondensatoriaus talpa 100 pF? (0,63 μH)

5. Ritės induktyvumas 0,8 H, elektros srovės stipris ritėje 30 A.

a) Apskaičiuokite ritės magnetinio lauko energiją. (360 J)

b) Nurodykite, kaip ji pakis, kai srovė ritėje dvigubai sustiprės.

6. Virpesių kontūras sudarytas iš dviejų vienodų nuosekliai sujungtų kondensatorių ir ritės. Kontūre vykstančių elektromagnetinių virpesių periodas 100 μs. Koks bus šių virpesių periodas, kai kondensatorius sujungsime lygiagrečiai? (200 μs)

7. Virpesių kontūro kondensatoriaus plokštelės krūvis q kinta pagal dėsnį, išreiškiamą lygtimi $q = 10^{-6} \cos (10^4 \pi t)$.

a) Parašykite elektros srovės stiprio priklausomybės nuo laiko lygtį $i = i(t)$.

b) Apskaičiuokite kontūre vykstančių elektromagnetinių virpesių dažnį ir periodą.

c) Nustatykite elektros krūvio virpesių amplitudę.

d) Apskaičiuokite elektros srovės stiprio virpesių amplitudę.

Pagrindinės sąvokos

Priverstìniai elektromagnètiniai virpesiaĩ,
kintamóji elèktros srovė̃,
efèktinė srovė̃s vertė̃,
efèktinė į́tampos vertė̃.

5.3. Priverstiniai elektromagnetiniai virpesiai

Priverstinių elektromagnetinių virpesių samprata

Laisvieji elektromagnetiniai virpesiai kontūre ilgainiui nuslopsta. Todėl praktikoje dažniau taikomi kitos rūšies virpesiai – ***priverstìniai elektromagnètiniai virpesiaĩ***. Taip vadinami virpesiai, kuriuos sukelia periodinė elektrovara, veikianti elektrinę grandinę. Kintamoji elektros srovė, naudojama buityje ir technikoje, yra ne kas kita kaip priverstiniai elektromagnetiniai virpesiai. Kaip ji atsiranda?

Žinome, kad rėmelį kertantis magnetinis srautas

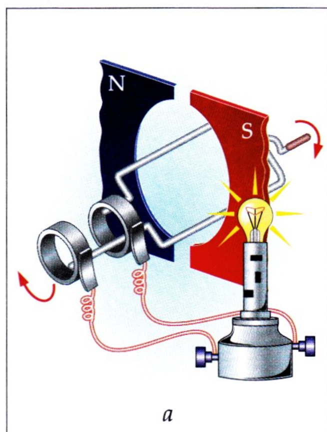
$$\Phi = BS \cos \varphi; \qquad (5.13)$$

čia φ – kampas tarp magnetinės indukcijos vektoriaus ir rėmelio plokštumos normalės. Sukant rėmelį magnetiniame lauke (5.3.1 pav., *a*) kampiniu greičiu ω, kampas φ (5.3.1 pav., *b*) kinta pagal priklausomybę $\varphi = \omega t$. Tada magnetinio srauto kitimą galima išreikšti taip:

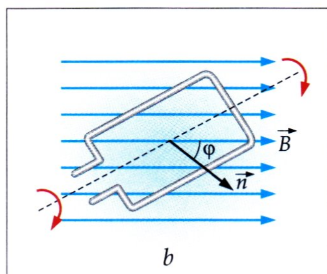
$$\Phi = BS \cos (\omega t). \qquad (5.14)$$

Kintamasis magnetinis laukas rėmelyje indukuoja elektrovarą, kurios momentinė vertė pagal elektromagnetinės indukcijos dėsnį lygi magnetinio srauto kitimo greičiui. Kadangi bet kokio dydžio kitimo grei-

5.3.1 pav.



a



b

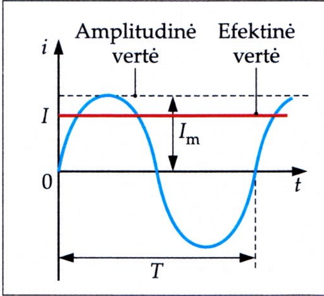
tis yra to dydžio išvestinė laiko atžvilgiu, tai indukuotosios elektrovaros momentinė vertė

$$e = -\Phi' = BS\omega \sin(\omega t) = E_m \sin(\omega t); \quad (5.15)$$

čia $E_m = BS\omega$ – indukuotosios elektrovaros amplitudė. Vadinasi, kai rėmelis magnetiniame lauke sukamas tolygiai, jame indukuojasi elektrovara, kuri kinta periodiškai pagal sinuso dėsnį. Jeigu rėmelio galus kontaktiniais žiedais ir jais slystančiais šepetėliais sujungtume su kokiu nors imtuvu, pavyzdžiui, elektros lempute (5.3.1 pav., *a*), indukuotoji elektrovara sukeltų grandinėje elektros srovę. Ši, būdama proporcinga indukuotajai elektrovarai, kistų pagal tą patį dėsnį:

$$i = I_m \sin(\omega t) = I_m \sin(2\pi\nu t). \quad (5.16)$$

Elektros srovė, kurios stipris ir kryptis periodiškai kinta, vadinama kintamają elèktros srovè. 5.16 lygtis, apibūdinanti srovės stiprio priklausomybę nuo laiko, vadinama kintamosios srovės lygtimi. Joje raide i pažymėta momentinė srovės stiprio vertė, I_m – amplitudinė jo vertė, arba trumpiau – amplitùdė. Kintamosios srovės grafikas yra sinusoidė (5.3.2 pav.). Kintamoji elektros srovė prietaisų skydeliuose ir elektrinėse schemose žymima simboliu ~.



5.3.2 pav.

Kintamąją elektros srovę apibūdinantys fizikiniai dydžiai

Prisiminkime kintamąją srovę apibūdinančius dydžius: elektros srovės amplitudinę vertę (amplitudę), periodą, dažnį.

- Kintamosios srovės amplitudinė vertė I_m yra didžiausia tos srovės vertė (5.3.2 pav.). Jos matavimo vienetas yra amperas.
- Kintamosios srovės periodas T – tai trumpiausias laikas, po kurio srovės kryptis ir stiprio vertė pasikartoja. Periodo matavimo vienetas – sekundė.
- Kintamosios srovės dažnis ν – per 1 s įvykusių srovės kitimo ciklų skaičius. Srovės dažnis yra atvirkščias periodui dydis:

$$\nu = \frac{1}{T}. \quad (5.17)$$

SI sistemoje jo matavimo vienetas yra hercas (Hz):

$$1 \text{ Hz} = \frac{1}{1 \text{ s}} = 1 \text{ s}^{-1}.$$

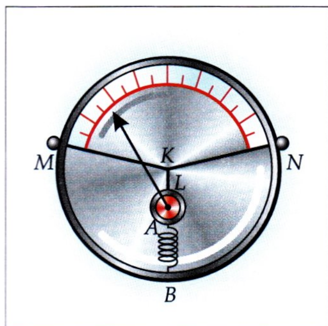
Elektros energetikoje daugiausia naudojama standartinio dažnio kintamoji elektros srovė. Lietuvojè ir daugelyje Europos šalių šis dažnis lygus 50 Hz. Radiotechnikoje elektros srovės dažnis matuojamas kilohercais ir megahercais:

$$1 \text{ kHz} = 10^3 \text{ Hz};$$
$$1 \text{ MHz} = 10^6 \text{ Hz}.$$

Kintamosios srovės stiprio ir įtampos efektinės vertės

Kintamosios elektros srovės stiprį išmatuoti nelengva. Kadangi standartinis šios srovės dažnis yra 50 Hz, tai per 1 s jos stipris ir kryptis pasikeičia $2 \cdot 50$ kartų. Nuolatinės srovės ampermetru išmatuoti kintamosios srovės stiprį būtų neįmanoma, nes jo rodyklė nespėtų svyruoti tokiu dažniu. Ji tik virpėtų apie pusiausvyros padėtį. Taigi kaip išmatuoti kintamosios srovės stiprį?

Žinome, kad, tekėdama laidininkais, elektros srovė juos įšildo. Laidininkuose išsiskiriantis šilumos kiekis yra tiesiogiai proporcingas srovės stiprio kvadratui ($Q = I^2R\Delta t$). Kintamajai srovei matuoti naudojami prietaisai, kurių veikimas pagrįstas šiluminiu srovės poveikiu.



5.3.3 pav.

Prisiminkime šiluminio ampermètro (5.3.3 pav.) sandarą ir veikimą. Pagrindinė jo dalis yra vielutė *MN*, prie kurios prijungta atótampa *KL* ir spyruoklė *AB*. Tekant stipresnei srovei, vielutė *MN* pailgėja ir drauge pasuka prietaiso rodyklę. Šiluminio ampermetro skalė sugraduojama, juo tekant nuolatinei srovei. Kintamoji srovė sukelia tokį pat šiluminį poveikį kaip ir nuolatinė, įkaitimas nuo srovės krypties nepriklauso. Tuo remiantis, įvedama efektinės srovės vertės sąvoka. ***Efèktine srovės vertè vadinama kintamosios srovės vertė, lygi tokiai nuolatinei srovei, kuri tame pačiame laidininke per tą patį laiką išskiria tiek pat šilumos kiek ir kintamoji.***

Visi ampermetrai kintamajai srovei matuoti rodo efektinę jos vertę. Kaip ir nuolatinės srovės stipris, ji

žymima raide I. Galima įrodyti, kad ši vertė yra $\sqrt{2}$ karto mažesnė už amplitudinę vertę:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}. \tag{5.18}$$

5.3.2 paveiksle efektinę kintamosios srovės vertę žymi horizontali raudona linija.

Voltmetrai, kuriais matuojama kintamoji įtampa, taip pat rodo efektinę jos vertę, $\sqrt{2}$ karto mažesnę už amplitudinę:

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}. \tag{5.19}$$

Klausimai ir užduotys

1. Ką vadiname priverstiniais elektromagnetiniais virpesiais?

2. Kas yra kintamoji elektros srovė?

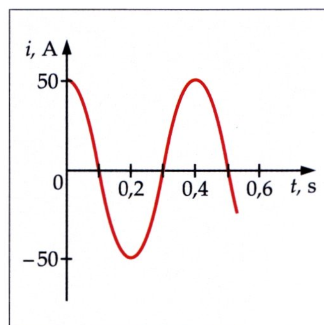
3. Kokie fizikiniai dydžiai ją apibūdina?

4. Paaiškinkite, kaip gaunama kintamoji srovė.

5. Ką vadiname efektine srovės verte?

6. Kokią srovės vertę rodo kintamosios srovės ampermetrai? Kokią įtampos vertę rodo kintamosios srovės voltmetrai?

7. Remdamiesi 5.3.4 paveiksle pavaizduotu grafiku, apskaičiuokite kintamosios elektros srovės:
a) amplitudinę vertę;
b) periodą;
c) dažnį;
d) efektinę vertę.



5.3.4 pav.

Mokomės spręsti uždavinius

Rėmelyje, kuris sukasi vienalyčiame magnetiniame lauke, indukuojasi kintamoji elektros srovė. Ji kinta pagal dėsnį, išreiškiamą lygtimi $i = 3 \sin (157t)$. Apskaičiuokime šios srovės:
a) amplitudinę vertę;
b) efektinę vertę;
c) dažnį ir periodą;
d) momentinę vertę, kai $t = 0{,}01$ s.

I_m – ?	$i = 3 \sin (157t)$
I – ?	$t = 0{,}01$ s
ν – ?	
T – ?	
i – ?	

Sprendimas

a) Palyginę bendrąją kintamosios srovės lygtį

$$i = I_m \sin (\omega t)$$

su nurodyta uždavinio sąlygoje

$$i = 3 \sin (157t),$$

matome, kad amplitudinė srovės vertė lygi

$$I_m = 3 \text{ A}.$$

b) Norėdami sužinoti efektinę srovės vertę, remiamės formule

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}.$$

Įrašę dydžių vertes, gauname:

$$I = \frac{3 \text{ A}}{\sqrt{2}} \approx 2{,}1 \text{ A}.$$

c) Kadangi $\omega = 2\pi\nu$, tai $\nu = \dfrac{\omega}{2\pi}$. Nagrinėjamu atveju $\omega = 157$, todėl

$$\nu = \frac{157}{2 \cdot 3{,}14} = 25 \text{ s}^{-1} = 25 \text{ Hz}.$$

Dažnis yra atvirkščias periodui dydis, vadinasi,

$$T = \frac{1}{\nu}.$$

Įrašę apskaičiuotą dažnio vertę, turime:

$$T = \frac{1}{25 \text{ s}^{-1}} = 0{,}04 \text{ s}.$$

d) Momentinę srovės vertę, kai $t = 0{,}01$ s, apskaičiuosime įrašę į srovės lygtį nurodytą t vertę. Atlikę veiksmus, gausime:

$$i = 3 \sin (157 \cdot 0{,}01) = 3 \sin 1{,}57 = 3 \sin \frac{\pi}{2} = 3 \text{ A}.$$

Atsakymas: a) 3 A; b) 2,1 A; c) 25 Hz; 0,04 s; d) 3 A.

Užduotys savarankiškam darbui

1. Kintamosios elektros srovės priklausomybė nuo laiko išreiškiama lygtimi $i = 10 \cos (50\pi t)$. Apskaičiuokite tos srovės:

a) amplitudę; (10 A)
b) dažnį; (25 Hz)
c) periodą. (0,04 s)

2. Magnetiniame lauke sukamas rėmelis. Jame indukuota elektrovara kinta pagal dėsnį, išreiškiamą lygtimi $e = 12 \sin (100\pi t)$. Apskaičiuokite:

a) elektrovaros amplitudinę vertę; (12 V)
b) elektrovaros efektinę vertę; (8,5 V)
c) elektros srovės periodą ir dažnį; (0,02 s; 50 Hz)
d) indukuotosios elektrovaros momentinę vertę, kai $t = 0{,}01$ s.

3. Elektrinė įtampa kinta pagal dėsnį, užrašomą lygtimi $u = 200 \cos (\omega t)$. Įtampos kitimo periodas lygus 60 ms. Apskaičiuokite momentinę įtampos vertę, praėjus:

a) 10 ms; (100 V)
b) 15 ms; (0)
c) 30 ms. (200 V)

4. Kintamosios elektros srovės stiprio amplitudė 20 mA, dažnis 1 kHz. Apskaičiuokite momentinę šios srovės stiprio vertę, praėjus 10^{-4} s nuo to momento, kai ji buvo lygi nuliui. ($\approx$ 12 mA)

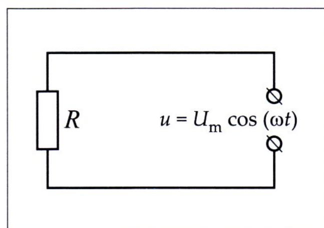
5.4. Kintamosios srovės grandinės aktyvioji varža

Kintamosios srovės grandinės aktyviosios varžos samprata

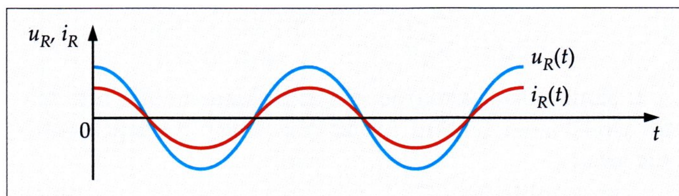
Pagrindinės sąvokos

Aktyvióji varžà, kintamõsios srovẽs galià.

Nagrinėdami nuolatinę elektros srovę, susipažinome su įvairiais laidininkų jungimo grandinėje būdais. Šioje temoje nagrinėsime paprasčiausią kintamosios srovės grandinę, kurią sudaro kintamosios srovės šaltinis, laidininkas (jo elektrinė varža R) ir jungiamieji



5.4.1 pav.



5.4.2 pav.

laidai (5.4.1 pav.). Šaltinio gnybtų įtampa kinta pagal kosinuso dėsnį:

$$u = U_m \cos(\omega t). \tag{5.20}$$

Elektrinio lauko, lemiančio krūvininkų judėjimą laidininke, stipris kinta pagal tą patį dėsnį. Dėl to laidininku ima tekėti kintamoji elektros srovė (i), kurios kitimo dažnis ir fazė sutampa su įtampos kitimo dažniu ir faze (5.4.2 pav.). Šį kokybinį aiškinimą papildykime kiekybiniu įrodymu.

Momentinę elektros srovės stiprio vertę galima sužinoti taikant Omo dėsnį grandinės daliai:

$$i = \frac{u}{R} = \frac{U_m \cos(\omega t)}{R} = \frac{U_m}{R}\cos(\omega t). \tag{5.21}$$

Iš čia matyti, kad elektros srovės stiprio amplitudė

$$I_m = \frac{U_m}{R}. \tag{5.22}$$

Atsižvelgę į tai, 5.21 lygtį galime užrašyti trumpiau:

$$i = I_m \cos(\omega t). \tag{5.23}$$

Taigi ***elektrinę varžą turinčiame laidininke srovės stiprio*** (5.23) ***ir įtampos*** (5.20) ***virpesių fazės sutampa***. 5.22 lygybėje elektros srovės stiprio ir įtampos amplitudines vertes pakeitę efektinėmis vertėmis, gauname Omo dėsnį kintamosios srovės grandinės daliai, kurioje yra varžos R laidininkas:

$$I = \frac{U}{R}. \tag{5.24}$$

Grandinė, kurioje įjungtas toks laidininkas, naudoja iš generatoriaus gaunamą elektros energiją. Ši energija negrįžtamai virsta šiluma. Nuo šiol laidininko, kuriame elektros energija virsta šiluma, varžą vadinsime ***aktyviąja varža***. Kintamosios elektros srovės grandinė gali turėti ir kitokių varžų.

Kintamosios srovės galia grandinės dalyje, turinčioje aktyviąją varžą

Standartinio dažnio (50 Hz) kintamosios srovės stipris ir įtampa kinta labai greitai. Tokiai srovei tekant laidininku (pavyzdžiui, elektros lemputės siūlu), išskiriamos energijos kiekis keičiasi taip pat labai sparčiai. Tačiau tų pokyčių praktiškai nepastebime. Mums svarbu žinoti elektros srovės vidutinę galią.

Kintamosios elektros srovės vidutinę galią grandinės dalyje apskaičiuosime remdamiesi momentinės galios išraiška. Kai srovės stiprio ir įtampos virpesių fazės sutampa, momentinė galia

$$p = iu. \qquad (5.25)$$

Atsižvelgę į įtampos (5.20) ir elektros srovės stiprio (5.23) kitimą, gauname tokią momentinės galios išraišką:

$$p = I_m U_m \cos^2(\omega t). \qquad (5.26)$$

Ją pertvarkę[1], įrodome, kad elektros srovės vidutinė galia $\bar{p}$ grandinės dalyje lygi

$$\bar{p} = \frac{I_m U_m}{2}. \qquad (5.27)$$

Kintamosios srovės vidutinę galią galime išreikšti ne amplitudinėmis, bet efektinėmis srovės stiprio ir įtampos vertėmis, nes jos yra patogesnės, mat betarpiškai apibūdina kintamosios elektros srovės galią grandinės dalyje. Pasinaudoję 5.18 ir 5.19 formule, gauname:

$$P = IU. \qquad (5.28)$$

Kintamosios srovės galia grandinės dalyje, turinčioje aktyviąją varžą, lygi srovės stiprio ir įtampos efektinių verčių sandaugai.

Klausimai ir užduotys ??

1. Ką vadiname aktyviąja varža? Apibūdinkite energijos virsmus laidininke, turinčiame aktyviąją varžą.

2. Kaip susiję kintamosios elektros srovės stipris ir įtampa grandinės dalyje, turinčioje aktyviąją varžą?

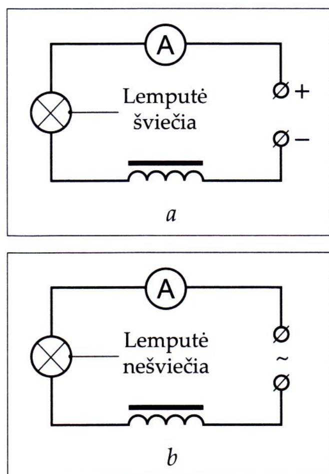
3. Parašykite momentinės elektros srovės stiprio vertės toje grandinės dalyje išraišką.

[1] Pertvarkome taikydami trigonometrinę formulę $\cos^2\alpha = \frac{1+\cos(2\alpha)}{2}$. Tada $p = I_m U_m \cos^2(\omega t) = I_m U_m \times$ $\times \frac{1+\cos(2\omega t)}{2} = \frac{I_m U_m}{2} +$ $+ \frac{I_m U_m}{2} \cos(2\omega t)$. Kadangi $\cos(2\omega t)$ vidurkis per periodą lygus nuliui, tai vidutinė galia lygi pirmajam formulės nariui: $\bar{p} = \frac{I_m U_m}{2}$.

5.5. Ritė kintamosios srovės grandinėje

Pagrindinės sąvokos

Induktyvióji varžà.



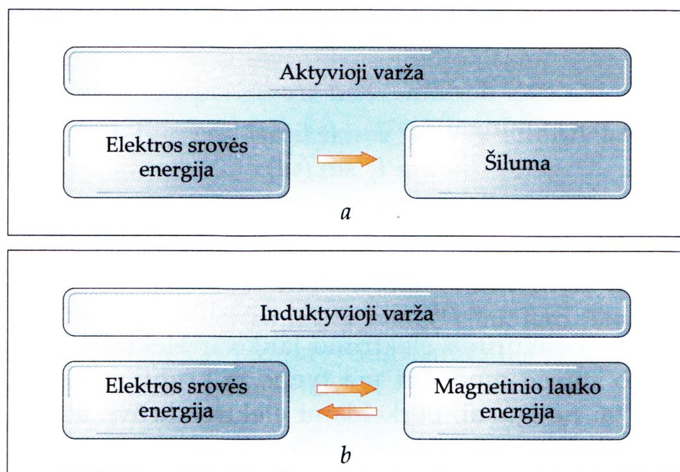
5.5.1 pav.

Induktyvioji varža

Nagrinėsime kintamosios srovės grandinę, kurioje įjungta ritė. Ritės induktyvumas turi įtakos srovės stipriui. Tuo galima įsitikinti atliekant nesudėtingą bandymą. Jo schema pateikta 5.5.1 paveiksle. Didelio induktyvumo ritė, į kurią įkišta feromagnetinė šerdis, nuosekliai sujungiama su elektros lempute ir ampermetru. Ši grandinė vieną kartą prijungiama prie nuolatinės srovės šaltinio (5.5.1 pav., *a*), kitą kartą – prie kintamosios srovės šaltinio, kurio įtampos efektinė vertė lygi nuolatinės srovės šaltinio įtampai (5.5.1 pav., *b*). Pirmuoju atveju elektros lemputė šviečia, o antruoju – ne. Iš antroje grandinėje įjungtos ritės pamažu traukiant šerdį, lemputė pradeda šviesti. Vadinasi, mažėjant ritės induktyvumui, kintamosios srovės stipris didėja.

Bandymo metu vykstančius reiškinius galima paaiškinti remiantis saviindukcija. Kai grandine teka nuolatinė elektros srovė (5.5.1 pav., *a*), saviindukcija reiškiasi tik įjungiant ir išjungiant grandinę, o kai kintamoji (5.5.1 pav., *b*) – visą laiką, nes nuolat keičiasi elektros srovės stipris ir kryptis. Kintant elektros srovei, kintamasis magnetinis laukas sužadina sūkurinį elektrinį lauką. Grandinėje atsiranda elektros srovės kitimo greičiui proporcinga saviindukcijos elektrovara $\left(e_s = -L\dfrac{\Delta i}{\Delta t}\right)$. Dėl to šaltinio sukurtas elektros srovės stipris nebespėja įgyti didžiausių verčių, kurias būtų pasiekęs laikui bėgant, jeigu įtampa būtų nuolatinė. Vadinasi, saviindukcijos elektrovara mažina elektros srovės stiprį ir veikia grandinėje kaip papildoma varža. Ritės sudaroma papildoma varža kintamajai elektros srovei vadinama ***induktyviąja varžà***. Ji žymima X_L, o jos matavimo vienetas yra omas.

Induktyvioji varža priklauso nuo ritės induktyvumo *L*. Kadangi, traukiant šerdį iš ritės, srovė grandinėje stiprėja, tai, mažėjant induktyvumui, induktyvioji varža taip pat mažėja.



5.5.2 pav.

Induktyvioji varža priklauso ir nuo įtampos kitimo dažnio ω. Kuo greičiau kinta įtampa, tuo didesnė saviindukcijos elektrovara ir tuo mažesnė elektros srovės stiprio amplitudė. Vadinasi, didėjant įtampos kitimo dažniui, induktyvioji varža didėja. Apibendrinus šias išvadas, galima suformuluoti induktyviosios varžos apibrėžimą. ***Induktyvioji varža yra fizikinis dydis, lygus įtampos kitimo dažnio ir induktyvumo sandaugai:***

$$X_L = \omega L. \tag{5.29}$$

Dėl induktyviosios varžos elektros energija grandinėje neprarandama. Elektros srovei stiprėjant, jos energija virsta magnetinio lauko energija (žr. 4.6 temą). Srovei silpnėjant, magnetinio lauko energija vėl virsta elektros srovės energija. Tuo energijos virsmai laidininke, turinčiame induktyviąją varžą, skiriasi nuo virsmų turinčiame aktyviąją varžą (5.5.2 pav.). Reikia pastebėti, kad ritė turi ne tik induktyviąją, bet ir tam tikrą aktyviąją varžą, nes, tekant elektros srovei, įšyla.

Srovės stiprio ir įtampos virpesių fazių skirtumas grandinėje, turinčioje induktyviąją varžą

Jeigu srovės šaltinio įtampa kinta dažniu ω, tai srovės stipris grandinėje kinta tokiu pat dažniu, tačiau srovės stiprio ir įtampos virpesių fazės nebūtinai su-

tampa. Koks yra srovės stiprio ir įtampos virpesių fazių skirtumas kintamosios srovės grandinėje, kurioje įjungta ritė? Tarkime, kad srovės stipris grandinėje kinta harmoningai:

$$i = I_m \sin(\omega t). \tag{5.30}$$

Tada saviindukcijos elektrovara

$$e = -L\frac{\Delta i}{\Delta t} = Li' = -L\omega I_m \cos(\omega t). \tag{5.31}$$

Kadangi sūkurinio elektrinio lauko ir elektrostatinio lauko stiprio moduliai yra lygūs, o kryptys priešingos, tai tie laukai, perkeldami elektros krūvį, atlieka vienodą darbą. Skiriasi tik jo ženklas. Iš čia išplaukia, kad

$$u = -e, \tag{5.32}$$

arba

$$u = L\omega I_m \cos(\omega t) = L\omega I_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right). \tag{5.33}$$

Iš 5.33 lygybės matyti, kad įtampos virpesių amplitudė

$$U_m = L\omega I_m. \tag{5.34}$$

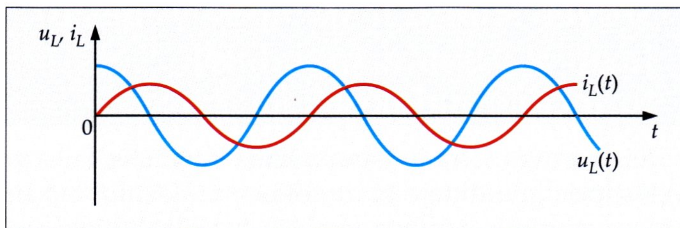
Atsižvelgę į 5.34 formulę, įtampos kitimą išreikškime trumpiau:

$$u = U_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right). \tag{5.35}$$

Palyginkime 5.30 ir 5.35 lygybes. Matome, kad ***įtampos virpesiai ritėje pralenkia srovės stiprio virpesius dydžiu $\frac{\pi}{2}$, arba kitaip, srovės stiprio virpesiai atsilieka nuo įtampos virpesių dydžiu $\frac{\pi}{2}$.***

Vadinasi, srovės stiprio ir įtampos virpesių fazių skirtumas kintamosios srovės grandinėje, kurioje yra ritė, lygus $\frac{\pi}{2}$ (5.5.3 pav.).

5.5.3 pav.



Omo dėsnis grandinės daliai, turinčiai induktyviąją varžą

Iš 5.34 lygybės išreikškime srovės stiprio amplitudę:

$$I_m = \frac{U_m}{\omega L}. \quad (5.36)$$

Vietoj srovės stiprio ir įtampos amplitudinių verčių įrašę efektines vertes ir atsižvelgę į tai, kad įtampos kitimo dažnio bei induktyvumo sandauga lygi induktyviajai varžai, gauname:

$$I = \frac{U}{X_L}. \quad (5.37)$$

Ši lygybė yra Omo dėsnis kintamosios srovės grandinės daliai, turinčiai tik induktyviąją varžą. Iš jos matyti, kad elektros srovės stiprio efektinė vertė yra tiesiogiai proporcinga įtampos efektinei vertei ir atvirkščiai proporcinga induktyviajai varžai.

Klausimai ir užduotys

1. Ką vadiname induktyviąja varža? Nuo ko ji priklauso?

2. Apkrovos įtampa kinta pagal dėsnį $u = U_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$, o elektros srovės stipris – pagal dėsnį $i = I_m \sin(\omega t)$. Kokia yra grandinės apkrova: aktyvioji ar induktyvioji? Atsakymą pagrįskite.

3. Ritė, kurios induktyvioji varža 500 Ω, įjungta į kintamosios įtampos tinklą. Įtampos efektinė vertė 100 V, kitimo dažnis 1000 Hz, ritės aktyvioji varža lygi nuliui.

a) Nubraižykite elektrinės grandinės schemą.

b) Apskaičiuokite ritės induktyvumą. (0,08 H)

c) Apskaičiuokite elektros srovės stiprio amplitudinę vertę. (0,28 A)

d) Nubraižykite induktyviosios varžos priklausomybės nuo įtampos kitimo dažnio grafiką.

4. Ritė įjungta į kintamosios įtampos tinklą. Įtampa kinta pagal dėsnį, išreiškiamą lygtimi $u = 628 \cos(100\pi t)$. Elektros srovės stiprio efektinė vertė lygi 7 A. Apskaičiuokite ritės induktyvumą. (0,2 H)

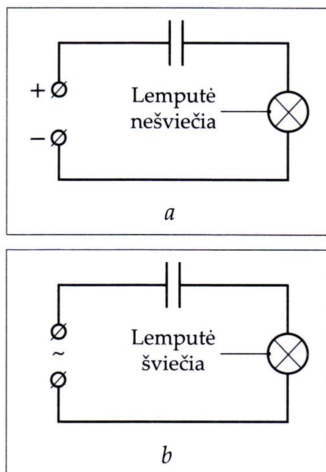
5.6. Kondensatorius kintamosios srovės grandinėje

Pagrindinės sąvokos

Talpìnė varžà.

Talpinė varža

Nagrinėsime elektrinę grandinę, kurioje yra kondensatorius (5.6.1 pav.). Kai prie jos prijungtas nuolatinės srovės šaltinis (5.6.1 pav., *a*), lemputė nešviečia. Srovė neteka[1], nes grandinė atvira – tarp kondensatoriaus plokštelių yra oro tarpas. Tai rodo, kad kondensatoriaus varža nuolatinei elektros srovei yra be galo didelė. Prijungus kintamosios srovės šaltinį (5.6.1 pav., *b*), kurio įtampos efektinė vertė lygi nuolatinės srovės šaltinio gnybtų įtampai, lemputė įsižiebia. Vadinasi, grandine teka kintamoji elektros srovė. Kodėl ji teka, jei grandinė atvira? Ogi todėl, kad kintamosios įtampos veikiamas kondensatorius periodiškai įsikrauna ir išsikrauna. Žiūrint į elektros lemputę, atrodo, kad ji šviečia nenutrūkstamai. Periodiškai kintančio jos siūlo švytėjimo žmogaus akis nepastebi.



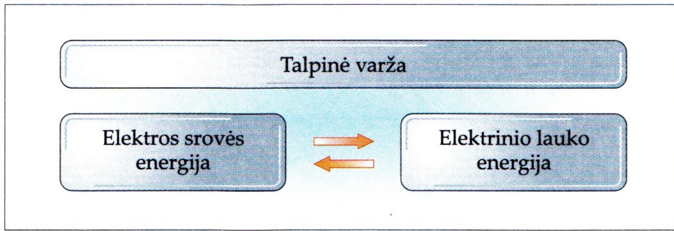
5.6.1 pav.

Akivaizdu: kuo didesnė kondensatoriaus elektrinė talpa C, tuo stipresnė įkrovimo ir iškrovimo srovė, taigi tuo mažesnė grandinės varža. Atliekant bandymą (5.6.1 pav., *b*) su reguliuojamo dažnio srovės šaltiniu, pastebėta, kad, didinant kintamosios srovės dažnį, lemputė šviečia vis ryškiau. Vadinasi, dažniui didėjant, grandinės varža mažėja, o srovės stipris didėja. Galime teigti, kad grandinės varža priklauso nuo kondensatoriaus talpos C ir srovės kitimo dažnio ω. ***Fizikinis dydis, atvirkščias srovės stiprio kitimo dažnio ir kondensatoriaus elektrinės talpos sandaugai, vadinamas talpinè varžà ir žymimas X_C:***

$$X_C = \frac{1}{\omega C}. \tag{5.38}$$

Talpinės varžos matavimo vienetas yra omas. Jei kondensatorius neturi aktyviosios varžos, tai elektros srovės šaltinio energija jame neeikvojama, ji tik iš vienos rūšies virsta kita (5.6.2 pav.). Per vieną ketvirtį

[1] Grandinę sujungiant ir išjungiant, gali atsirasti trumpalaikė elektros srovė. Ji teka tol, kol kondensatorius įsikrauna (sujungiant) ir išsikrauna (išjungiant).

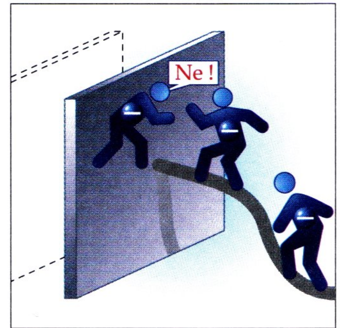


5.6.2 pav.

periodo, kol kondensatorius įsikrauna (įtampa didėja), energija kaupiasi jame kaip elektrinio lauko energija. Per kitą ketvirtį periodo, kondensatoriui išsikraunant (įtampai mažėjant), elektrinio lauko energija virsta elektros srovės energija.

Srovės stiprio ir įtampos virpesių fazių skirtumas grandinėje, turinčioje talpinę varžą

Kai kondensatorius pradeda įsikrauti, jo gnybtų įtampa lygi nuliui, o srovės stipris grandinėje yra didžiausias. Elektros krūviui kaupiantis plokštelėse, elektronai grandine juda vis sunkiau, nes juos stumia neigiamai įsielektrinusioje plokštelėje esantys elektronai (5.6.3 pav.). Elektronų srautas iš teigiamai įelektrintos plokštelės taip pat sumažėja. Kai kondensatorius visiškai įsikrauna, jo gnybtų įtampa pasiekia didžiausią vertę, o srovės stipris grandinėje lygus nuliui. Kokybiškai apibendrinant minėtus reiškinius, galima teigti, kad elektros srovės stiprio virpesiai pralenkia kondensatoriaus gnybtų įtampos virpesius. Šią išvadą nesunku pagrįsti ir kiekybiškai.



5.6.3 pav.

Tarkime, kad kondensatoriaus gnybtų įtampa kinta harmoningai:

$$u = U_m \cos(\omega t). \tag{5.39}$$

Remdamiesi elektrinės talpos apibrėžimu, gauname:

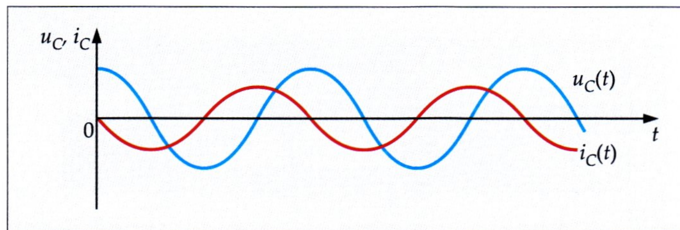
$$u = \frac{q}{C}. \tag{5.40}$$

Iš čia, atsižvelgdami į 5.39 lygybę, išreiškiame elektros krūvį:

$$q = CU_m \cos(\omega t). \tag{5.41}$$

Srovės stipris yra elektros krūvio kitimo greitis, taigi jis lygus krūvio išvestinei laiko atžvilgiu:

$$i = q' = -C\omega U_m \sin(\omega t) = C\omega U_m \cos\left(\omega_0 t + \frac{\pi}{2}\right). \tag{5.42}$$



5.6.4 pav.

Dydį $C\omega U_m$ pažymėję I_m, gauname tokią srovės stiprio išraišką:

$$i = I_m \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right). \quad (5.43)$$

Lygindami 5.39 ir 5.43 lygybes, matome, kad ***srovės stiprio virpesiai pralenkia kondensatoriaus gnybtų įtampos virpesius dydžiu*** $\frac{\pi}{2}$ (5.6.4 pav.).

Omo dėsnis grandinės daliai, turinčiai talpinę varžą

Elektros srovės stiprio amplitudė

$$I_m = C\omega U_m. \quad (5.44)$$

Atsižvelgę į talpinės varžos apibrėžimą (5.38), srovės amplitudę galime išreikšti taip:

$$I_m = \frac{U_m}{X_C}. \quad (5.45)$$

Vietoj elektros srovės stiprio ir įtampos amplitudinių verčių įrašę efektines vertes, gauname Omo dėsnį kintamosios srovės grandinės daliai, turinčiai tik talpinę varžą:

$$I = \frac{U}{X_C}. \quad (5.46)$$

Taigi elektros srovės stiprio efektinė vertė yra tiesiogiai proporcinga kondensatoriaus įtampos efektinei vertei ir atvirkščiai proporcinga talpinei varžai.

Klausimai ir užduotys

1. Kodėl grandine, kurioje yra kondensatorius, nuolatinė elektros srovė tekėti negali, o kintamoji teka?

2. Ką vadiname talpine varža? Nuo ko ji priklauso?

3. Kaip susijusios kondensatoriaus gnybtų įtampos ir srovės stiprio efektinės vertės, kai į aktyviąją kondensatoriaus varžą galima nekreipti dėmesio?

4. Elektros srovės stipris grandinės dalyje, kurioje įjungtas kondensatorius, kinta pagal dėsnį, išreiškiamą lygtimi $i = 5 \cos (20t)$. Parašykite kondensatoriaus gnybtų įtampos kitimo dėsnį.

5. Kokia yra 5 μF talpos kondensatoriaus, įjungto į 50 Hz dažnio kintamosios įtampos tinklą, varža? (0,7 kΩ)

6. Kondensatorius įjungtas į standartinio dažnio (50 Hz) kintamosios įtampos tinklą. Kondensatoriaus gnybtų įtampos amplitudinė vertė 380 V, o elektros srovės stiprio efektinė vertė 5 A. Apskaičiuokite kondensatoriaus elektrinę talpą. (60 μF)

5.7. Rezonansas kintamosios srovės grandinėje

Elektrinio rezonanso samprata

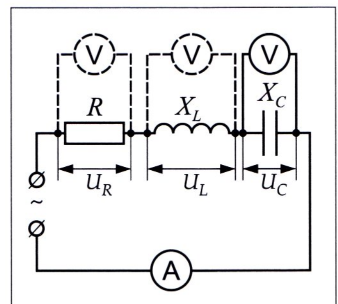
Pagrindinės sąvokos

Elektr̀inis rezonánsas, rezonánso kreivė̃.

Nagrinėdami mechaninius svyravimus, susipažinote su mechaniniu rezonansu, t. y. ryškiu kūno svyravimo amplitudės padidėjimu, kai išorinės jėgos kitimo dažnis sutampa su kūno savuoju svyravimo dažniu. Kiekvienas tamprus kūnas, pavyzdžiui, pastatas, tiltas, lango stiklas, mašinos korpusas, yra sistema, turinti savąjį svyravimo dažnį. Pavyzdžiui, dėl autobuso variklio dalių judėjimo gali atsirasti periodinės jėgos. Jeigu jų dažnis sutampa su autobuso korpuso savuoju svyravimo dažniu, autobuso korpusas pradeda virpėti – įvyksta mechaninis rezonansas.

Rezonansas gali vykti ne tik mechaninėje sistemoje, bet ir elektrinėje grandinėje. Prie kintamosios srovės šaltinio prijunkime virpesių kontūrą, sudarytą iš kondensatoriaus ir ritės (5.7.1 pav.). Srovės stipriui matuoti į grandinę įjunkime ampermetrą, o įtampai

5.7.1 pav.



matuoti – voltmetrą. Keiskime šaltinio įtampos virpesių dažnį ω ir stebėkime, kaip kinta elektros srovės stipris grandinėje bei ritės arba kondensatoriaus gnybtų įtampa. Matysime, kad tam tikru momentu šie dydžiai labai padidėja (dešimtis ar net šimtus kartų) – grandinėje vyksta ***elektrìnis rezonánsas***.

Elektrinio rezonanso aiškinimas

Kokia yra elektrinio rezonanso esmė? Norėdami atsakyti į šį klausimą, išnagrinėkime paprasčiausią nešakotinę kintamosios srovės grandinę – nuoseklųjį virpesių kontūrą, prijungtą prie kintamosios įtampos šaltinio (žr. 5.7.1 pav.). Elektrinės grandinės varžą sudaro aktyvioji varža R, induktyvioji varža X_L ir talpinė varža X_C. Nors grandinės elementai sujungti nuosekliai, tačiau pilnutinė grandinės varža nelygi atskirų elementų varžų sumai, nes srovės stiprio ir kondensatoriaus bei ritės gnybtų įtampos virpesių fazės nesutampa (žr. lentelę).

Elektrinės grandinės schema	Elektrinės grandinės varža	Srovės stiprio ir įtampos virpesių fazių skirtumas	
R	R	u, i; u; i; 0; t	$\varphi = 0$
X_L	$X_L = \omega L$	u, i; u; i; 0; t	$\varphi = -\dfrac{\pi}{2}$
X_C	$X_C = \dfrac{1}{\omega C}$	u, i; u; i; 0; t	$\varphi = \dfrac{\pi}{2}$

Atsižvelgus į fazių skirtumą, nuosekliosios grandinės (5.7.1 pav.) pilnutinė varža Z išreiškiama taip:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}. \qquad (5.47)$$

Srovės stiprio amplitudė I_m yra tiesiogiai proporcinga įtampos amplitudei U_m ir atvirkščiai proporcinga grandinės pilnutinei varžai Z:

$$I_m = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}. \qquad (5.48)$$

Kai šaltinio įtampos amplitudė pastovi, srovės stiprio amplitudė priklauso nuo įtampos kitimo dažnio ω. Iš 5.48 lygybės matyti, kad didžiausia ji yra tada, kai ritės induktyvioji varža lygi kondensatoriaus talpinei varžai:

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}. \quad (5.49)$$

Iš čia

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}. \quad (5.50)$$

Gauta lygybė sutampa su 5.5 lygybe, apibūdinančia virpesių kontūro savąjį dažnį. Vadinasi, srovės stipris grandinėje didžiausią vertę įgyja tada, kai prie virpesių kontūro prijungtos kintamosios įtampos dažnis (ω) sutampa su kontūro savuoju dažniu (ω_0):

$$\omega = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}. \quad (5.51)$$

Tai yra pagrindinė elektrinio rezonanso sąlyga. ***Rezonansu elektrinių virpesių kontūre vadinamas staigus priverstinių virpesių amplitudės padidėjimas, kai išorinės kintamosios įtampos dažnis (ω) sutampa su virpesių kontūro savuoju dažniu (ω_0).***

Iš 5.48 lygybės išplaukia, kad elektrinio rezonanso metu srovės stiprio virpesių amplitudė

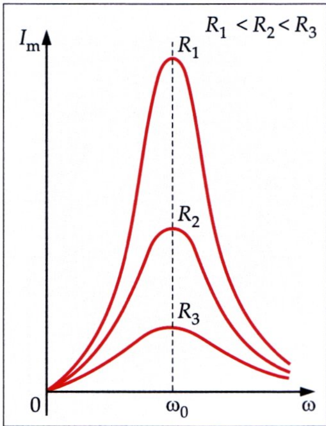
$$I_m = \frac{U_m}{R}. \quad (5.52)$$

Rezonanso kreivė

Srovės stiprio virpesių amplitudės priklausomybę nuo išorinės įtampos kitimo dažnio galima pavaizduoti grafiškai (5.7.2 pav.). Gauta kreivė vadinama *rezonánso kreivė̀*.

Kai grandinės aktyvioji varža labai maža ($R \to 0$), srovės stipris gali būti nepaprastai didelis ($I_{rez} \to \infty$). Grandinės aktyviajai varžai didėjant, didžiausia srovės stiprio vertė mažėja. Elektrinį rezonansą palyginę su mechaniniu, pastebime, kad aktyvioji varža elektrinėje grandinėje atlieka trinties koeficiento vaidmenį. Mechaninis rezonansas yra ryškus, kai mažas trinties koeficientas, o elektrinis – kai maža aktyvioji varža.

5.7.2 pav.

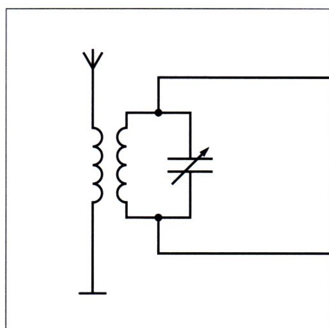


Elektrinio rezonanso metu padidėja ne tik srovės stipris, bet ir kondensatoriaus bei ritės gnybtų įtampa. Šios įtampos pasidaro vienodos ir gali būti daug kartų didesnės už išorinę įtampą:

$$U_C = U_L \gg U_m. \tag{5.53}$$

Į rezonansą reikia atsižvelgti jungiant elektrines grandines. Rezonanso metu atsiradusi stipri elektros srovė gali smarkiai įkaitinti laidus, o pernelyg aukšta įtampa pramušti izoliaciją.

Elektrinio rezonanso taikymas



5.7.3 pav.

Elektrinis rezonansas plačiai taikomas radiotechnikoje: radijo imtuvuose, stiprintuvuose, aukštojo dažnio virpesių generatoriuose.

Aptarkime rezonanso taikymą radijo ryšiui. Kiekviena radijo stotis dirba tam tikru dažniu ω. Radijo bangos, ateinančios iš įvairių stočių, imtuvo antenoje sukelia įvairių dažnių kintamąsias elektros sroves (5.7.3 pav.). Sukiojant radijo imtuvo bangų priėmimo rankenėlę, keičiama virpesių kontūro kondensatoriaus talpa, o drauge ir kontūro savasis dažnis ω_0. Iš visų virpesių, sužadintų antenoje, kontūras išskiria tik tuos, kurių dažnis sutampa su kontūro savuoju dažniu.

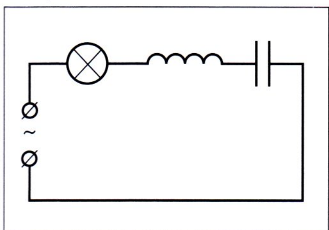
Klausimai ir užduotys

1. Kaip kinta ritės induktyvioji varža, didėjant šaltinio įtampos dažniui?

2. Kaip kinta kondensatoriaus talpinė varža, didėjant šaltinio įtampos dažniui?

3. Nuosekliąją kintamosios srovės grandinę sudaro elektros lemputė, ritė be šerdies, kondensatorius ir srovės šaltinis (5.7.4 pav.). Į ritę iš lėto kišant šerdį, lemputė iš pradžių šviečia vis ryškiau, paskui ima pamažėle gesti. Paaiškinkite šį reiškinį.

5.7.4 pav.



4. Į elektrinę grandinę įjungtas 5 μF talpos kondensatorius ir 0,01 H induktyvumo ritė. Koks turi būti elektros srovės kitimo dažnis, kad grandinėje įvyktų elektrinis rezonansas? (0,5 kHz)

5. Elektrinė grandinė sudaryta iš trijų nuosekliai sujungtų imtuvų: varžo, kondensatoriaus ir ritės. Varžo aktyvioji varža 3 Ω, kondensatoriaus talpinė varža 10 Ω, ritės induktyvioji varža 6 Ω. Ši grandinė įjungta į 120 V kintamosios įtampos tinklą.

a) Nubraižykite elektrinės grandinės schemą.

b) Apskaičiuokite srovės stiprį grandinėje. (24 A)

c) Apskaičiuokite kiekvieno imtuvo gnybtų įtampą. (72 V; 120 V; 144 V)

5.8. Kintamosios srovės generatorius

Kintamosios srovės generatoriaus sandara

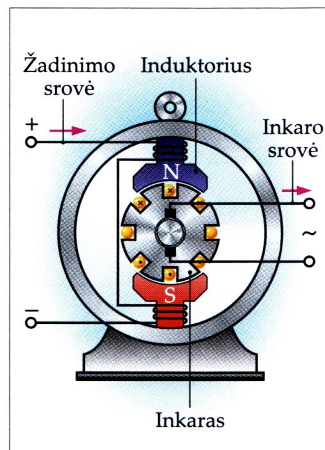
Elektros mašinos, kurios mechaninę energiją paverčia elektros energija, vadinamos ***elèktros srovė̃s generãtoriais***. Prie jų priskiriami galvaniniai elementai, elektrostatinės mašinos, saulės baterijos, magnetohidrodinaminiai generatoriai, kintamosios srovės generatoriai. Pastarųjų veikimas grindžiamas elektromagnetinės indukcijos reiškiniu, todėl jie dar kartais vadinami ***induktyviaĩsiais kintamõsios srovė̃s generãtoriais***. Jie yra įvairių konstrukcijų, tačiau kiekvienas turi tas pačias pagrindines sudedamąsias dalis: elektromagnètą arba nuolatìnį magnètą, sukuriantį magnetinį lauką, ir apvijas, kuriose indukuojasi elektrovara (5.8.1 pav.). Generatoriaus dalis, kuri sukuria magnetinį lauką, vadinama ***indùktoriumi***, o dalis, kurioje indukuojasi elektrovara, – ***iñkaru***.

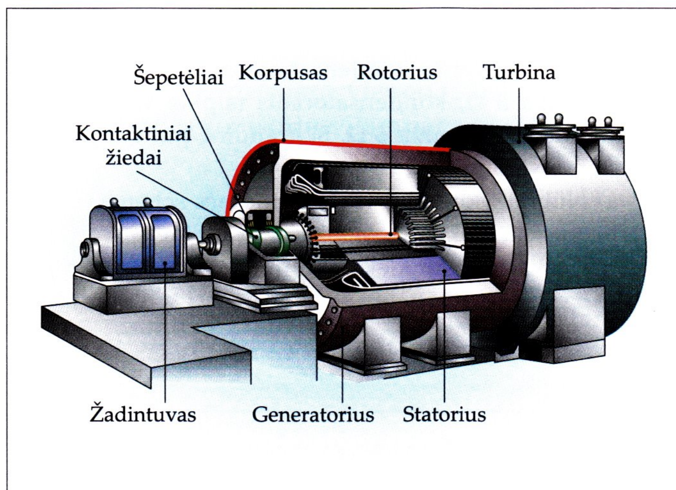
Kintamosios srovės generatoriuose naudojama beveik uždara magnetinė sistema, sudaryta iš dviejų šerdžių (5.8.2 pav.). Jos gaminamos iš plonų, viena nuo kitos izoliuotų plieninių plokščių. Į šerdžių griovelius dedamos apvijos. Vienos šerdies apvija, kai ja teka elektros srovė, sukuria magnetinį lauką, kitos apvijoje indukuojasi kintamoji srovė. Indukuotosios elektros srovės kryptis nustatoma pagal dešinės rankos taisyklę (žr. 4.2.3 pav.). Šerdis, kuri kartu su apvija

Pagrindinės sąvokos

Kintamõsios srovė̃s generãtorius,
stãtorius,
ròtorius,
indùktorius,
iñkaras,
žãdinimo srovė̃.

5.8.1 pav.



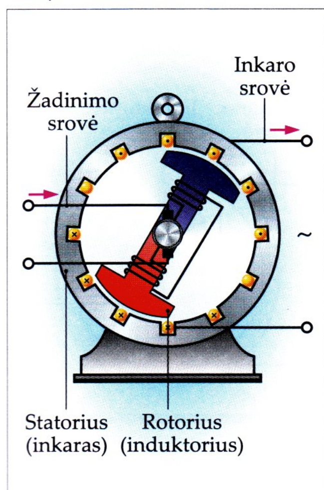


5.8.2 pav.

(dažniausiai vidinė) sukasi apie ašį, vadinama ***ròtoriumi***, nejudanti šerdis su joje esančia apvija – ***stãtoriumi***. Kad magnetinis srautas būtų kuo didesnis, tarpas tarp rotoriaus ir statoriaus paliekamas mažas. Srovė indukuojama rotoriaus apvijoje (jeigu generatorius yra toks, koks pavaizduotas 5.8.2 paveiksle).

Srovei perduoti iš rotoriaus į išorinę grandinę naudojami ***slankíeji kontãktai***: kontaktiniai žiedai ir šepetėliai. Rotoriaus apvijos galai prijungiami prie kontaktinių žiedų, o prie šių prispaudžiami šepetėliai (plokštelės). Slankieji kontaktai, perduodant jais stiprią elektros srovę, kaista, kibirkščiuoja. Todėl indukuojamą srovę į išorinę grandinę patogiau tiekti iš nejudamų apvijų. Dideliuose, stiprią elektros srovę gaminančiuose generatoriuose sukasi elektromagnetas, o apvijos, kuriose indukuojasi srovė, statoriuje įtvirtinamos nejudamai. Tokios konstrukcijos generatoriuose silpna elektros srovė per slankiuosius kontaktus tiekiama į besisukantį elektromagnetą. Ši elektros srovė vadinama ***žãdinimo srovè*** (5.8.3 pav.). Mažos galios generatoriuose vietoj elektromagneto naudojami nuolatiniai magnetai.

5.8.3 pav.



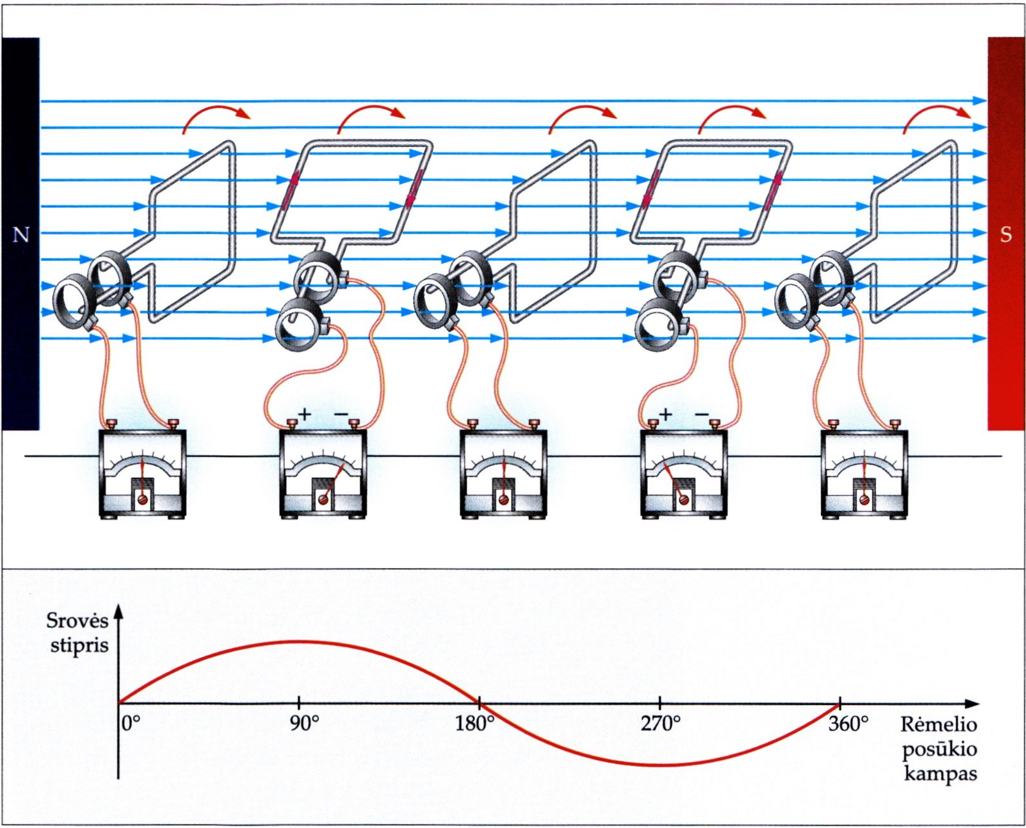
Kintamosios srovės generatoriaus veikimas

Kintamosios srovės generatoriaus veikimo principą nagrinėjome 5.3 temoje. Žinome, kad, rėmeliui sukantis magnetiniame lauke, magnetinis srautas, ker-

tantis rėmelio ribojamą plotą, kinta. Dėl to rėmelyje indukuojasi elektrovara, o kartu ir kintamoji elektros srovė (5.8.4 pav.). Generatoriaus apviją, kurioje indukuojasi srovė, sudaro daug tarpusavyje nuosekliai sujungtų vijų (rėmelių), todėl visoje apvijoje indukuotos elektrovaros amplitudė yra proporcinga vijų skaičiui.

Generatoriaus rotoriaus sukimosi dažnis priklauso nuo elektromagneto polių skaičiaus. Gaminant standartinio dažnio (50 Hz) elektros srovę, rotorių, sudarytą iš dvipolio elektromagneto, reikėtų sukti 50 sūk/s, arba 3000 sūk/min, greičiu. Tačiau šį greitį galima sumažinti padidinus elektromagneto polių skaičių. Tada gaminamos srovės periodas bus lygus laikui, per kurį rotorius apsuka ne visą ratą, o tik tam tikrą jo dalį. Pavyzdžiui, kaip rotorių naudojant elektromagnetą, turintį 4 polius, rotorių galima sukti 2 kartus lėčiau. Naudojant šešiapolį elektromagnetą, rotorius sukamas trigubai lėčiau ir pan.

5.8.4 pav.



Klausimai ir užduotys

1. Ką vadiname elektros srovės generatoriumi?

2. Kuo pagrįstas kintamosios srovės generatorių veikimas?

3. Išvardykite kintamosios srovės generatoriaus svarbiausias sudedamąsias dalis.

4. Kuo skiriasi kintamosios ir nuolatinės srovės generatorių sandara?

5. Nuo ko priklauso kintamosios srovės generatoriaus rotoriaus sukimosi dažnis? Atsakymą pagrįskite.

6. Persibraižykite savo sąsiuvinyje lentelę ir pabaikite ją pildyti. Lentelėje apibūdinkite magnetinio srauto, indukuotosios elektrovaros ir elektros srovės stiprio vertes, atitinkančias tas rėmelio padėtis, kurios pavaizduotos 5.8.4 paveiksle.

Rėmelio padėtis	Magnetinis srautas	Indukuotoji elektrovara	Srovės stipris
a	Didžiausias	0	0
b			
c			
d			
e			

7. Vienalyčiame magnetiniame lauke sukamas rėmelis. Jį kertantis magnetinis srautas kinta pagal dėsnį, išreiškiamą lygtimi $\Phi = 0{,}02 \cos (10\,\pi t)$.

a) Nustatykite didžiausią magnetinio srauto vertę.
b) Apskaičiuokite rėmelio sukimosi dažnį. (5 Hz)
c) Parašykite rėmelyje indukuotos elektrovaros lygtį.
d) Nustatykite indukuotosios elektrovaros amplitudinę vertę. (0,628 V)

8. Rėmelis, kurio ribojamas plotas 500 cm^2, sukamas tolygiai 50 s^{-1} dažniu vienalyčiame magnetiniame lauke. Magnetinio lauko indukcija 0,4 T. Apskaičiuokite rėmelyje indukuotos elektrovaros amplitudę. (6,28 V)

9. Vienalyčiame magnetiniame lauke, kurio indukcija 0,1 T, sukamas rėmelis. Jo ribojamas plotas 500 cm^2, sukimosi periodas 0,05 s. Rėmelyje indukuotos elektrovaros amplitudė 63 V. Kiek vijų turi rėmelis? ($\approx$ 100)

5.9. Elektros energijos gamyba ir perdavimas

Elektros energijos gamyba

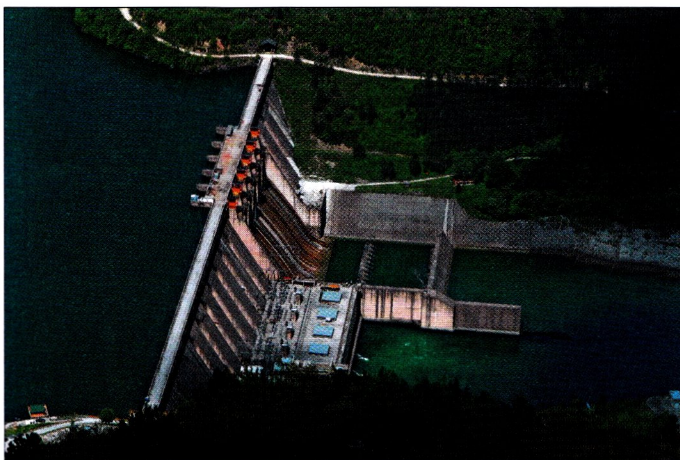
Elektros energija naudojama buityje, pramonėje ir transporte. Mokydamiesi fizikos žemesnėse klasėse, sužinojote, kad ji gaminama specialiose įmonėse, vadinamose elektrinėmis. Pagal kuro rūšį elektrinės skirstomos į hidroelektrines, šilumines elektrines ir atomines elektrines.

Hidroelektrìnių (HE) energijos šaltinis yra pakelto vandens potencinė energija. Todėl jų galia priklauso nuo vandens lygių skirtumo ir vandens debito. Šių elektrinių generatoriaus rotorių suka hidraulinė turbina. Hidroelektrinės (5.9.1 pav.) potencinę vandens energiją paverčia elektros energija. Jose gaminamos elektros energijos savikaina yra mažiausia.

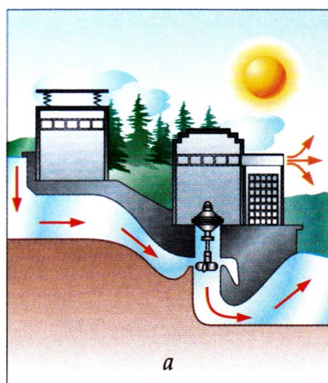
Akivaizdu, kad daugiausia elektros energijos suvartojama dieną ir vakare. Mažiausiai jos reikia naktį (nuo pirmos iki šeštos valandos). Norint išlyginti šiuos energijos vartojimo skirtumus, statomos ***hidroakumuliãcinės elektrìnės (HAE)***. Dieną jos veikia kaip hidroelektrinės. Nuo užtvankos krintantis vanduo suka hidroturbiną, o ši – generatoriaus rotorių

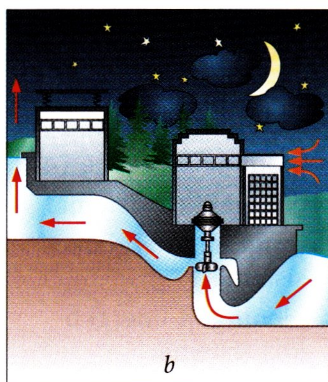
Pagrindinės sąvokos

Hidroelektrìnė (HE), hidroakumuliãcinė elektrìnė (HAE), šilumìnė elektrìnė (ŠE), šilumìnė termofikãcinė elektrìnė (ŠEC), atòminė elektrìnė (AE), energètikos sistemà, jungtìnė energètikos sistemà, vienìngoji energètikos sistemà.



5.9.1 pav.





5.9.2 pav.

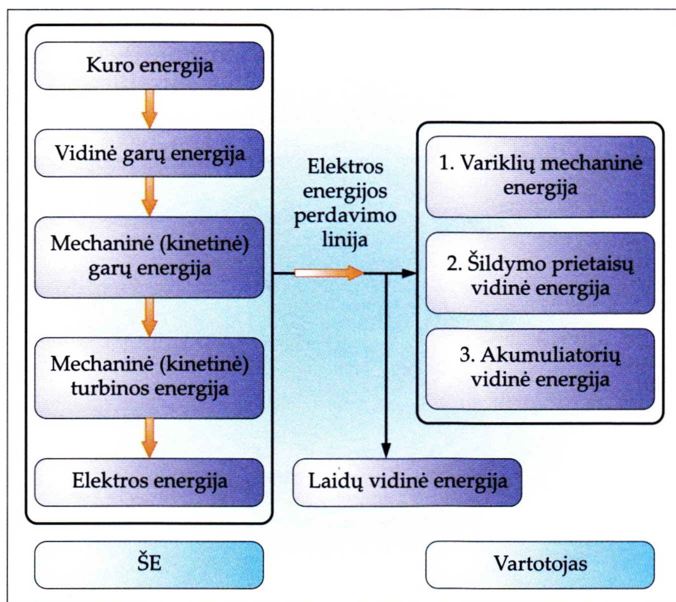
(5.9.2 pav., *a*). Naktį siurbliais, kurie naudoja perteklinę elektros energiją, vanduo iš žemutinio baseino pumpuojamas į aukštutinį (5.9.2 pav., *b*). Kaišiadorių HAE žemutinis baseinas yra Kaũno marios, o aukštutinis įrengtas 110 m aukštyje.

Šilumìnių elektrìnių (ŠE) energijos šaltinis yra nafta, mazutas, anglys, dujos, degieji skalūnai. Jų generatoriaus rotorių suka garo turbinos. Šiluminėse elektrinėse vidinė kuro energija virsta elektros energija. Detaliau energijos virsmai nurodyti 5.9.3 paveiksle.

Garo turbina – šiluminis variklis. Jos naudingumo koeficientas didėja kylant pradinei garų temperatūrai. Todėl į turbiną patenka labai suslėgti ir įkaitinti iki aukštos temperatūros (apie 600 °C) garai. ŠE naudingumo koeficientas sudaro apie 40 %. Jį galima dar padidinti atidirbusius garus naudojant patalpoms šildyti, karštam vandeniui tiekti. Elektrinės, kuriose dalis atidirbusių garų energijos naudojama šioms reikmėms, vadinamos šilumìnėmis termofikãcinėmis elektrìnėmis (ŠEC). Jų naudingumo koeficientas siekia apie 60–70 %.

Atòminės elektrìnės (AE) naudoja branduolinių reakcijų metu išsiskiriančią energiją. Plačiau apie atominių elektrinių sandarą ir veikimą sužinosite mokydamiesi atomo branduolio skyrių.

5.9.3 pav.



Elektros energijos nuostoliai perdavimo linijose

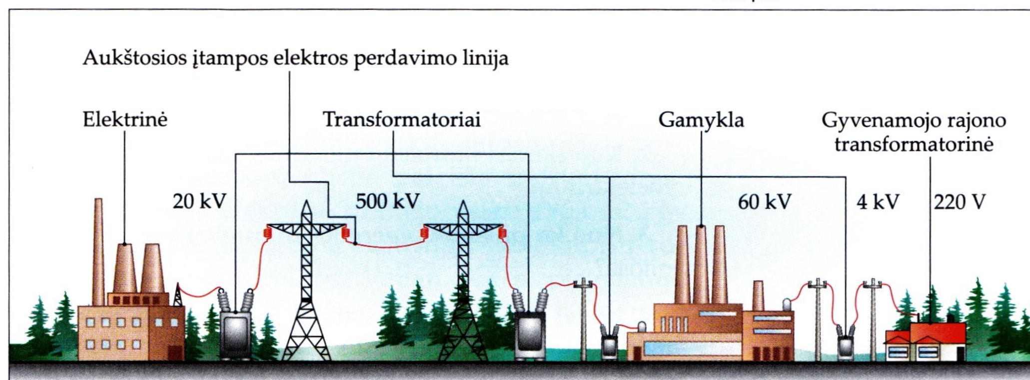
Elektros energija gaminama netoli kuro šaltinių arba didesnių vandens išteklių. Jos vartotojai dažniausiai būna nutolę už šimtų ar net tūkstančių kilometrų. Dėl šios priežasties iškyla ekonominės elektros energijos perdavimo problemos. Pagrindinė jų – elektros energijos nuostoliai, atsirandantys elektros perdavimo linijose. Mat laidininkai, tekant jais elektros srovei, įšyla. Juose išsiskyrusios šilumos kiekis apskaičiuojamas pagal Džaulio ir Lenco dėsnį ($Q = I^2R\Delta t$). Iš šio dėsnio matyti, kad išsiskiriančios šilumos kiekis labiausiai priklauso (kvadratinė priklausomybė) nuo laidais tekančios srovės stiprio, taip pat nuo laidų varžos ir srovės tekėjimo laiko.

Laidininkų varža tiesiogiai proporcinga jų ilgiui. Vadinasi, kuo ilgesnė elektros perdavimo linija, tuo didesni energijos nuostoliai. Vien Lietuvõs elektros perdavimo linijų ilgis siekia 120 000 km. Labai ilga linija perduoti energiją ekonomiškai nenaudinga, o sumažinti laidų varžą sunku. Todėl tenka mažinti elektros srovės stiprį.

Elektros energijos perdavimas

Elektros srovės galia proporcinga srovės stiprio ir įtampos sandaugai. Mažinant srovės stiprį, galią galima išsaugoti tik aukštinant įtampą. Tam tikslui elektros perdavimo linijos pradžioje, šalia elektrinių, statomi aukštinamieji transformatoriai (5.9.4 pav.). Įtampą jie padidina tiek kartų, kiek kartų sumažina

5.9.4 pav.



elektros srovės stiprį (žr. 4.7 temą, p. 155). Kuo ilgesnė perdavimo linija, tuo aukštesnė turi būti įtampa. Šiuo metu yra nutiestos 35 kV, 110 kV, 330 kV, 500 kV, 750 kV ir 1150 kV įtampos elektros perdavimo linijos.

Vartotojams reikalinga žemesnė įtampa. Pavyzdžiui, buityje naudojama 220 V įtampa. Todėl elektros perdavimo linijos pabaigoje statomi žeminamieji transformatoriai (žr. 5.9.4 pav.). Įtampa žeminama ir atitinkamai didinamas elektros srovės stipris keliais etapais. Po kiekvieno žeminimo etapo elektros tinklai apima vis didesnę teritoriją.

Tokia yra supaprastinta elektros energijos perdavimo schema. Iš tikrųjų kintamosios srovės perdavimo procesas yra gerokai sudėtingesnis. Perspektyviau perduoti nuolatinę srovę. Dėl to transformatoriais kintamoji įtampa iš pradžių paaukštinama, vėliau specialiais įrenginiais paverčiama nuolatine. Perdavimo linijos pabaigoje ji vėl paverčiama kintamąja ir pažeminama.

Tam tikroje teritorijoje esančios elektrinės, elektros perdavimo linijos ir imtuvai jungiami į ***energètikos sistemàs***. Sudarius tokią sistemą, energiją galima tiekti nenutrūkstamai, net nustojus veikti kuriam nors sistemos objektui, taip pat sumažinti elektros energijos savikainą. Gretimų teritorijų energetikos sistemos jungiamos į ***jungtinès energètikos sistemàs***, o šios – į ***vieniñgąją energètikos sistèmą***. Lietuvõs energetikos sistema yra Báltijos šalių jungtinės energetikos sistemos dalis.

Klausimai ir užduotys ??

1. Apibūdinkite energijos virsmus, vykstančius:
a) hidroelektrinėse;
b) šiluminėse elektrinėse;
c) atominėse elektrinėse.

2. Kuo skiriasi hidroakumuliacinės elektrinės nuo hidroelektrinių?

3. Nuo ko priklauso energijos nuostoliai perdavimo linijose?

4. Kodėl prie elektrinių statomi aukštinamieji transformatoriai?

5. Kodėl prie vartotojų statomi žeminamieji transformatoriai?

6. Kuo kintamoji elektros srovė yra pranašesnė už nuolatinę?

7. Aukštosios įtampos elektros perdavimo linijose virš pagrindinių laidų nutiesiami du papildomi laidai, kurie neizoliuojami nuo plieninių atramų. Paaiškinkite, kam jie reikalingi.

5.10. Elektros energetikos raida Lietuvoje

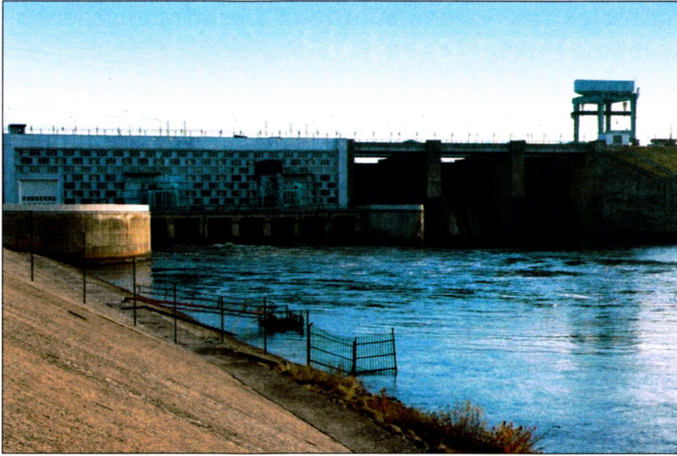
Žodis „energetika" (gr. *energētikos* – veiklus) suprantamas kaip visų rūšių energijos (šilumos, elektros, mechaninės energijos ir kt.) gamybos, perdavimo ir paskirstymo vartotojams sistemų bei įrenginių visuma. Patogiausia energijos rūšis yra elektros energija, nes ji lengvai keičiama kitų rūšių energija, tinka tiesiogiai vartoti daugelyje žmogaus veiklos sričių.

Elektros energetika – labai svarbi sudedamoji Lietuvõs ūkio dalis. Jos istorijos pradžia galima laikyti 1892 m., kai Rietavè pradėjo veikti pirmoji elektrinė, įkurta bajoro, Rietãvo dvarininko Bogdano Oginskio. Elektrinė buvo pastatyta šalia dvaro lentpjūvės, ji tiekė 110 V įtampą. Iš pradžių šios elektrinės gaminama elektros energija naudota tik dvaro rūmuose ir parke, vėliau elektra buvo nuvesta į bažnyčią ir miestelėnų namus. Pirmoji Lietuvõs elektrinė veikė net iki 1915 m.

1898 m. Kaunè, metalo gamykloje, paleista pirmoji Lietuvojè pramonės įmonės elektros jėgainė. Po dvejų metų, 1900 m., Kaunè ėmė veikti centrinė elektrinė. Tais pačiais metais elektrinė paleista ir Klaĩpėdoje. Vìlniuje pirmoji elektrinė pradėjo veikti 1903 m. Pirmųjų Lietuvojè pastatytų elektrinių generatorių rotorius suko garo turbinos. Vėliau, XX a. pirmajame dešimtmetyje, prie Virvýtės upės pastatyta pirmoji Lietuvojè hidroelektrinė. Kiti svarbūs Lietuvõs energetikos raidos faktai pateikiami lentelėje.

Data	Svarbiausi Lietuvos elektros energetikos raidos faktai
1921 m.	Lietuvojè (Tauragėjè) pradėta naudoti aukštosios įtampos 3 kV kintamoji elektros srovė.
1922–1923 m.	Kaunè ir Šiauliuosè pradėta naudoti 6 kV įtampos kintamoji elektros srovė.
1929 m.	Ėmė veikti Klaĩpėdos viešoji šiluminė elektrinė.
1930 m.	Paleista Petrašiū́nų viešoji šiluminė elektrinė.
1941 m.	Nutiesta pirmoji Lietuvojè 30 kV įtampos elektros perdavimo linija Šiauliaĩ–Radvìliškis–Panevėžỹs.
1947 m.	Centralizuotos termofikacijos pradžia Lietuvojè. Petrašiū́nų šiluminė elektrinė (Petrašiū́nų VRE) pradėjo tiekti garus Petrašiū́nų popieriaus fabrikui.
1950–1951 m.	Nutiestos pirmosios 35 kV įtampos elektros perdavimo linijos: Petrašiū́nų VRE–Eiguliaĩ, Vìlniaus TE-2–„Šiaurinė“.
1951 m.	Paleista naujos Vìlniaus termofikacinės elektrinės (Vìlniaus TE-2) pirmoji (12 000 kW galios) turbina.
1955 m.	Pradėta statyti Kaũno hidroelektrinė (5.10.1 pav.).
1958 m.	Nutiesta pirmoji (110 kV) elektros perdavimo linija gelžbetoninėmis atramomis (Vìlnius–Kaũnas).
1962 m.	Pradėta statyti Lietuvõs elektrinė.
1971 m.	Pradėta statyti Kaũno termofikacinė elektrinė (Kaũno TE) (5.10.2 ir 5.10.3 pav.).
1972 m.	Baigta Lietuvõs elektrinės statyba. Joje paleistas aštuntasis (300 MW galios) blokas. Elektrinė pasiekė 1800 MW galią.
1974 m.	Pradėta statyti Ignalìnos atominė elektrinė (Ignalìnos AE).
1976 m.	Pradėta statyti trečioji Vìlniaus termofikacinė elektrinė (Vìlniaus TE-3).
1976 m.	Pradėta statyti Mažeĩkių termofikacinė elektrinė (Mažeĩkių TE).
1977 m.	Pradėta statyti Krúonio hidroakumuliacinė elektrinė (Krúonio HAE).
1983 m.	Paleistas pirmasis (1500 MW galios) Ignalìnos atominės elektrinės blokas.
1987 m.	Paleistas antrasis Ignalìnos AE (1500 MW galios) blokas.
2005 m.	Uždarytas pirmasis Ignalìnos AE blokas.
2009 m.	Uždaroma Ignalìnos AE.

Elektros energetikos sistemą sudaro daug sudėtingų ir didelėje teritorijoje išdėstytų sudedamųjų dalių, t. y. elektros stočių ir pastočių, sujungtų tarpusavyje elektros perdavimo linijomis. XX a. pirmajame ketvirtyje išryškėjo pasaulio energetikos sistemų jungimosi procesai. Vėliau energetikos sistemos ėmė vienytis į jungtines sistemas. Susivienijusios energetikos



5.10.1 pav.

sistemos yra veiksmingesnės, nes sumažėja apkrovos svyravimai, elektrinės gali dirbti efektyviau, sumažėja suvartojamo kuro kiekis ir energijos savikaina, lengviau sprendžiamos ekologinės problemos.

Lietuvõs elektros energetikos sistema pradėta kurti 1956 m., sujungus 110 kV įtampos elektros perdavimo linija Petrašiū̃nų ir Rėkývos elektrines (per Pãnevėžį). 1957 m. Lietuvõs energetiką imta valdyti centralizuotai. Dėl to įkurta Energetikos ūkio valdyba. 1960 m. pradėjo veikti pirmasis sisteminis ryšys tarp Lietuvõs ir Kaliningrãdo energetikos sistemų. Taip pasibaigė pirmasis šalies energetikos sistemos kūrimo etapas. Visos valstybinės rajoninės elektrinės: abi Vìlniaus, Petrašiū̃nų, Rėkývos, Klaĩpėdos šiluminė ir Kaũno

5.10.2 pav.



5.10.3 pav.



hidroelektrinė – buvo sujungtos į bendrą energetikos sistemos tinklą.

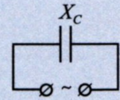
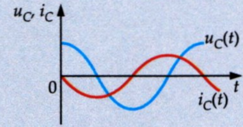
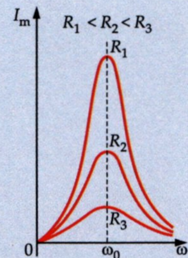
Nuo 1962 m. iki 1992 m. veikė didžiulis tarptautinis energetikos sistemų susivienijimas „Mir“, kurį sudarė Bulgãrijos, Čekoslovãkijos, Lénkijos, Rumùnijos, Veñgrijos, VDR ir buvusios TSRS energetikos sistemos. 1991 m. Lietuvõs, Lãtvijos ir Èstijos sistemos nuo jo atsiskyrė ir sudarė atskirą Baltijos energetikos sistemų susivienijimą, kurio dispečerinis valdymo centras yra Rygojè. Šis susivienijimas numato ateityje prisijungti prie Vakarų Europos energetikos sistemų susivienijimo „Ucpte“. Tereikia nutiesti aukštosios įtampos elektros perdavimo liniją į Lénkiją ir modernizuoti Baltijos energetikos sistemų susivienijimo valdymą. Tada būtų sukurtas vadinamasis Didysis Baltijos žiedas, apimantis Báltijos ir Skandinãvijos šalis, Vokietìją, Lénkiją, Baltarùsiją ir Rùsiją.

Labai svarbus kiekvienos energetikos sistemos parametras yra elektros srovės dažnis. Jis priklauso nuo gaminamos ir vartojamos galios. Gaminama ir suvartojama elektros energija kiekvienu momentu turi būti subalansuota. Leidžiamas elektros srovės dažnio nuokrypis nuo standartinio dažnio (50 Hz) turi būti ne didesnis kaip 0,2–0,5 %. Sistemos dažnį paprastai reguliuoja didžiosios hidroelektrinės ir šiluminės elektrinės, o atominės elektrinės, saugumo sumetimais, šiame procese nedalyvauja. Líetuvai rengiantis prisijungti prie Lénkijos ir Vakarų Europos energetikos sistemų, iškilo būtinybė turėti dažnio ir galios automatinio reguliavimo, įtampos reguliavimo ir kitas priemones.

Skyriaus „Elektromagnetiniai virpesiai" apibendrinimas

Elektromagnetiniai virpesiai	Periodiškas arba beveik periodiškas elektros krūvio, srovės stiprio ir įtampos kitimas vadinamas elektromagnetiniais virpesiais. Jie skirstomi į laisvuosius ir priverstinius.
Laisvieji elektromagnetiniai virpesiai	Elektromagnetiniai virpesiai, kurie atsiranda išvedus elektrinę sistemą iš pusiausvyros padėties, vadinami laisvaisiais. Jie sukeliami virpesių kontūre.
Laisvųjų elektromagnetinių virpesių periodas	Laisvųjų elektromagnetinių virpesių periodas (T) yra tiesiogiai proporcingas kvadratinei šakniai iš ritės induktyvumo (L) ir kondensatoriaus talpos (C): $$T = 2\pi\sqrt{LC}.$$
Elektros krūvio ir srovės stiprio harmoniniai virpesiai kontūre	Virpesių kontūro kondensatoriaus elektros krūvis laikui bėgant kinta pagal dėsnį $$q = q_m \cos(\omega_0 t).$$ Elektros srovės stiprio virpesiai aplenkia elektros krūvio virpesius dydžiu $\frac{\pi}{2}$: $$i = q' = I_m \cos\left(\omega_0 t + \frac{\pi}{2}\right).$$
Priverstiniai elektromagnetiniai virpesiai	Elektromagnetiniai virpesiai, kuriuos sukelia periodinė elektrovara, veikianti elektrinę grandinę, vadinami priverstiniais. Jie vyksta kintamosios srovės generatoriuje. Kintamoji elektros srovė, naudojama buityje ir technikoje, yra priverstiniai elektromagnetiniai virpesiai.
Kintamoji elektros srovė	Elektros srovė, kurios stipris ir kryptis periodiškai kinta, vadinama kintamąja: $$i = I_m \sin(\omega t);$$ i – momentinė srovės vertė, I_m – amplitudinė srovės vertė, I – efektinė srovės vertė.
Kintamąją srovę apibūdinantys dydžiai	• Kintamosios srovės amplitudinė vertė I_m yra didžiausia šios srovės vertė. $$[I_m] = 1\text{ A}.$$ • Kintamosios srovės periodas T – trumpiausias laikas, po kurio srovės kryptis ir stiprio vertė pasikartoja. $$[T] = 1\text{ s}.$$

	• Kintamosios srovės dažnis ν – per 1 s įvykusių srovės kitimo ciklų skaičius. $[\nu] = 1\ \text{Hz} = 1\ \text{s}^{-1}$. • Efektine srovės verte I vadinama kintamosios srovės vertė, lygi tokiai nuolatinei srovei, kuri tame pačiame laidininke per tą patį laiką išskiria tiek pat šilumos kiek ir kintamoji. $I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$. • Kintamosios įtampos efektinė vertė yra dydis, $\sqrt{2}$ karto mažesnis už amplitudinę įtampos vertę: $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$.
Aktyvioji varža	Laidininko, kuriame elektros energija negrįžtamai virsta šiluma, varža vadinama aktyviąja varža. R
Kintamosios srovės grandinės aktyvioji varža	Aktyviąją varžą turinčioje grandinės dalyje elektros srovės stiprio ir įtampos virpesių fazės sutampa: $i = I_m \cos(\omega t)$, $u = U_m \cos(\omega t)$. Omo dėsnis kintamosios srovės grandinės daliai, turinčiai aktyviąją varžą, užrašomas taip: $I = \frac{U}{R}$. u_R, i_R; $u_R(t)$; $i_R(t)$; 0; t
Induktyvioji varža	Induktyvioji varža X_L yra fizikinis dydis, lygus įtampos kitimo dažnio ir induktyvumo sandaugai: $X_L = \omega L$; $[X_L] = 1\ \Omega$. Dėl induktyviosios varžos elektros energija grandinėje neprarandama. X_L
Ritė kintamosios srovės grandinėje	Įtampos virpesiai ritėje pralenkia elektros srovės stiprio virpesius dydžiu $\frac{\pi}{2}$: $i = I_m \sin(\omega t)$, $u = U_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$. Omo dėsnis kintamosios srovės grandinės daliai, turinčiai induktyviąją varžą, užrašomas taip: $I = \frac{U}{X_L}$. u_L, i_L; $u_L(t)$; $i_L(t)$; 0; t
Talpinė varža	Talpinė varža X_C yra fizikinis dydis, atvirkščias srovės stiprio kitimo dažnio ir kondensatoriaus elektrinės talpos sandaugai: $X_C = \frac{1}{\omega C}$; $[X_C] = 1\ \Omega$.

	Dėl talpinės varžos elektros energija grandinėje neprarandama. 
Kondensatorius kintamosios srovės grandinėje	Srovės stiprio virpesiai pralenkia kondensatoriaus gnybtų įtampos virpesius dydžiu $\frac{\pi}{2}$: $u = U_m \cos(\omega t)$, $i = I_m \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$. Omo dėsnis kintamosios srovės grandinės daliai, turinčiai talpinę varžą, užrašomas taip: $I = \frac{U}{X_C}$. 
Kintamosios srovės galia	Kintamosios srovės galia grandinės dalyje, turinčioje aktyviąją varžą, lygi srovės stiprio ir įtampos efektinių verčių sandaugai: $P = IU$; $[P] = 1$ W.
Elektrinis rezonansas	Rezonansu elektrinių virpesių kontūre vadinamas staigus priverstinių virpesių amplitudės padidėjimas, kai išorinės kintamosios įtampos dažnis (ω) sutampa su virpesių kontūro savuoju dažniu (ω_0): $\omega = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$; čia L – kontūro ritės induktyvumas, C – kondensatoriaus talpa. Elektrinio rezonanso metu srovės stiprio virpesių amplitudė $I_m = \frac{U_m}{R}$.
Rezonanso kreivė	Grafikas, vaizduojantis elektros srovės stiprio amplitudės priklausomybę nuo įtampos kitimo dažnio, vadinamas rezonanso kreive. 
Kintamosios srovės generatorius	Elektros mašina, kuri mechaninę energiją paverčia elektros energija, vadinama elektros srovės generatoriumi. Kintamosios srovės generatoriaus veikimas pagrįstas elektromagnetinės indukcijos reiškiniu. Kintamosios srovės generatoriaus pagrindinės dalys yra: • induktorius – nuolatinis magnetas arba elektromagnetas, sukuriantis magnetinį lauką; • inkaras – apvijos, kuriose indukuojasi elektrovara; • slankieji kontaktai – kontaktiniai žiedai ir šepetėliai.





E l e k t r a





6 Elektromagnetinės bangos

Šiame skyriuje nagrinėsite elektromagnetines bangas, jų spinduliavimą, sklidimą įvairiomis terpėmis, be to, gvildensite jų savybes ir taikymo radiotechnikoje praktinius aspektus.

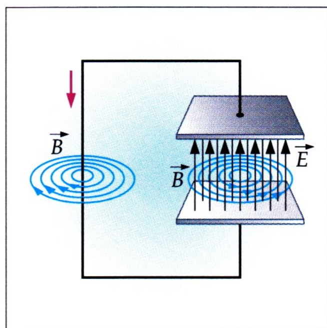
6.1. Elektromagnetinės bangos, jų spinduliavimas

Pagrindinės sąvokos

Elektromagnètinis laũkas,
elektromagnètinė bangà,
atviràsis virpesių kòntūras,
antenà.

Elektromagnetinis laukas

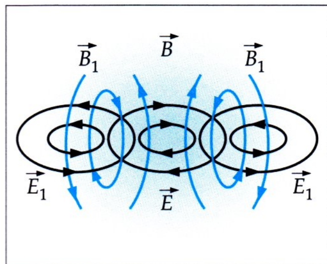
Erdvėje aplink nejudančias elektringąsias daleles susidaro elektrostatinis laukas, o aplink judančias (nuolatinę elektros srovę) – nekintantis magnetinis laukas. Abu jie egzistuoja nepriklausydami vienas nuo kito. Tirdamas elektromagnetinės indukcijos reiškinį (XIX a.), Džeimsas Klarkas Maksvelas įžvelgė, kad, kintant magnetiniam laukui, atsiranda sūkurinis elektrinis laukas. Remdamasis gamtos vieningumu, jis iškėlė hipotezę, kad kintamasis sūkurinis elektrinis laukas gali sukurti kintamąjį magnetinį lauką. Anot Maksvelo, kondensatoriui išsikraunant, magnetinį lauką sužadina ne tik laidais tekanti srovė, bet ir kintantis elektrinis kondensatoriaus laukas (6.1.1 pav.). Jis sukuria tokį magnetinį lauką, koks būtų, jeigu tarp kondensatoriaus plokštelių tekėtų tokia pati elektros srovė kaip ir laidininku. ***Periodiškai kintančių vienas kitam statmenų laukų (elektrinio ir magnetinio) visuma vadinama elektromagnètiniu laukù.***



6.1.1 pav.

Kintamasis magnetinis laukas (kurio indukcija $\vec{B}$), sužadina sūkurinį elektrinį lauką (jo stipris $\vec{E}$), šis – kintamąjį magnetinį lauką $(\vec{B}_1)$ ir t. t. (6.1.2 pav.). Kartą prasidėjęs magnetinio ir elektrinio lauko tarpusavio sužadinimo procesas tęsiasi ir apima vis naujas erdvės sritis. Magnetiniam laukui stiprėjant $\left(\frac{\Delta B}{\Delta t} > 0\right)$, elektrinio lauko stiprio $\vec{E}$ ir magnetinės indukcijos vektoriaus $\vec{B}$ kryptis nustatoma pagal kairės rankos taisyklę (6.1.3 pav., *a*). Elektriniam laukui stiprėjant $\left(\frac{\Delta E}{\Delta t} > 0\right)$, elektrinio lauko stiprio $\vec{E}$ ir magnetinės indukcijos vektoriaus $\vec{B}$ kryptis nustatoma pagal dešinės rankos taisyklę (6.1.3 pav., *b*).

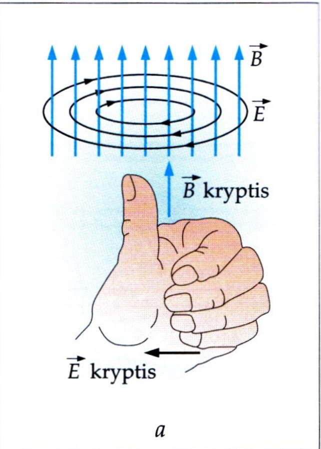
6.1.2 pav.

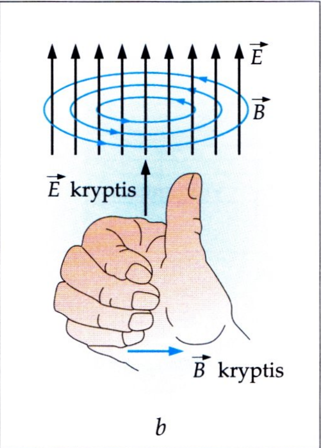


Atradus elektrinio ir magnetinio lauko ryšį, paaiškėjo, kad negalima sužadinti kintamojo magnetinio

lauko, nesukuriant erdvėje kintamojo elektrinio lauko. Ir priešingai, kintamasis elektrinis laukas be magnetinio neegzistuoja. Tam tikrų atskaitos sistemų atžvilgiu gali atrodyti, kad magnetinis laukas egzistuoja be elektrinio ir atvirkščiai. Pavyzdžiui, nejudančio stebėtojo atžvilgiu aplink gulintį ant Žemės paviršiaus magnetą yra tik magnetinis laukas, tačiau judantis magneto atžvilgiu stebėtojas aptiks ir elektrinį lauką. Jeigu atskaitos sistemoje, kurios atžvilgiu magnetas nejuda, elektrinio lauko nėra, tai dar nereiškia, kad to lauko apskritai nėra.

Atradus elektromagnetines bangas, Maksvelo hipotezė apie kintamojo magnetinio ir sūkurinio elektrinio lauko ryšį buvo patvirtinta bandymais. Deja, tai įvyko jau po Maksvelo mirties.

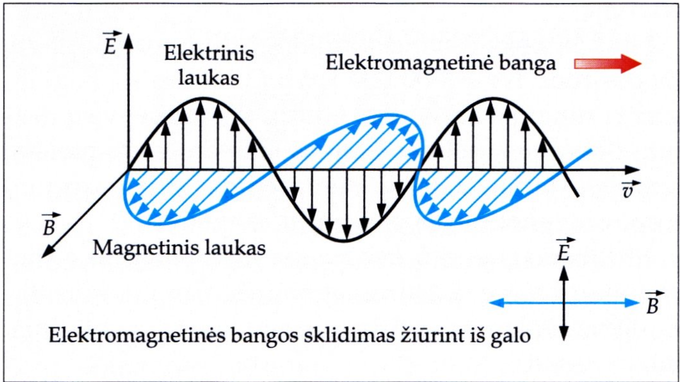




6.1.3 pav.

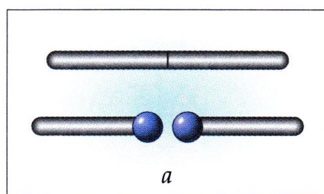
Elektromagnetinė banga

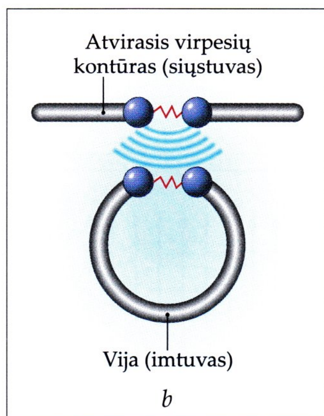
Periodiškai kintančių vienas kitam statmenų laukų (elektrinio ir magnetinio) sistema, plintanti į vis didesnes erdvės sritis, vadinama elektromagnètine bangà. Elektromagnetinėje bangoje vektoriai $\vec{E}$ ir $\vec{B}$ yra statmeni vienas kitam ir bangos sklidimo greičiui. Elektromagnetinė banga yra skersinė (6.1.4 pav.). Kaip ji susidaro? Magnetinis laukas kinta, jeigu keičiasi elektros srovės stipris laidininke. Srovės stiprio kitimo priežastis – laisvųjų elektronų judėjimo greičio kitimas. Vadinasi, tekant kintamajai elektros srovei, elektronai juda su pagreičiu. ***Pagreitis yra pagrindinė elektromagnetinių bangų spinduliavimo sąlyga.*** Kuo didesnis elektronų judėjimo pagreitis, tuo intensyvesnė banga išspinduliuojama.



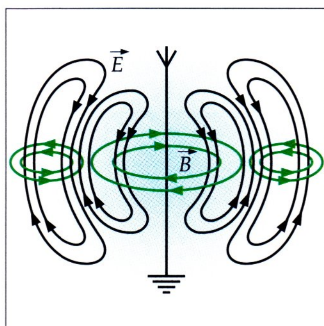
6.1.4 pav.

Elektromagnetinių bangų spinduliavimas





6.1.5 pav.



6.1.6 pav.

Elektromagnetines bangas 1888 m. pirmą kartą gavo vokiečių fizikas Heinrichas Hercas (*Heinrich Hertz*, 1857–1894). Bandymams jis naudojo atvirąjį virpesių kontūrą, kuris buvo gautas tolinant vieną nuo kitos uždarojo kontūro (6.1.1 pav.) kondensatoriaus plokšteles ir mažinant jų plotą bei ritės vijų skaičių. Taigi galiausiai liko tik tiesus laidas. Perpjovęs jį pusiau, tarp atskirų dalių Hercas paliko mažą tarpelį, o ant galų užmovė metalinius rutuliukus (6.1.5 pav., *a*). Tada abi laido dalis stipriai įelektrindavo. Tarp jų šokdavo kibirkštis, kuri sujungdavo grandinę. Tam tikru atstumu nuo šio laido (atvirojo virpesių kontūro) laikydamas vielos viją su dviem rutuliukais jos galuose, Hercas pastebėjo, kad kibirkštis blykstelėdavo ne tik tarp virpesių kontūro rutuliukų, bet ir tarp rutuliukų, įtvirtintų vijos galuose (6.1.5 pav., *b*). Vykstant elektromagnetiniams virpesiams atvirajame kontūre, erdvėje aplink jį susidaro elektromagnetinė banga. Jos sūkurinis elektrinis laukas sužadina elektros srovę antriniame kontūre.

Vieną virpesių kontūro kondensatoriaus plokštelę įžeminus, o kitą pakeitus viela, gaunamas atvirasis virpesių kontūras, kuris radiotechnikoje vadinamas ***antenà*** (lot. *antenna* – laivo stiebo skersinis). Ji spinduliuoja arba sugeria elektromagnetines bangas. Šių bangų sūkurinio elektrinio lauko vektorius $\vec{E}$ yra toje pačioje plokštumoje kaip ir antena, o magnetinės indukcijos vektorius $\vec{B}$ jai statmenas (6.1.6 pav.). Toldamos nuo kontūro, elektromagnetinės bangos perneša energiją.

Hercas apskaičiavo elektromagnetinių bangų greitį. Jis pasirodė lygus 300 000 km/s ($3 \cdot 10^8$ m/s). Taigi šis greitis sutampa su šviesos greičiu. Vakuume visų dažnių elektromagnetinės bangos sklinda tokiu greičiu, terpėje – lėčiau. Greičio sumažėjimas priklauso nuo terpės magnetinių ir elektrinių savybių.

Elektromagnetinių bangų savybės panašios į mechaninių bangų. Elektromagnetinės bangos atsispindi, lūžta, aplenkia kliūtis (difraguoja), joms būdinga interferencija.

Klausimai ir užduotys

1. Apibendrindami žinias apie elektrinį, magnetinį ir elektromagnetinį lauką, nurodykite, kas yra:
a) magnetinio lauko šaltiniai;
b) elektrinio lauko šaltiniai;
c) elektromagnetinio lauko šaltiniai.

2. Samprotaudami įrodykite, kad bet kuriame erdvės taške negali egzistuoti tik elektrinis arba tik magnetinis laukas.

3. Kas yra elektromagnetinis laukas; elektromagnetinė banga?

4. Kaip elektromagnetinėje bangoje vienas kito atžvilgiu nukreipti vektoriai $\vec{E}$, $\vec{B}$ ir $\vec{c}$?

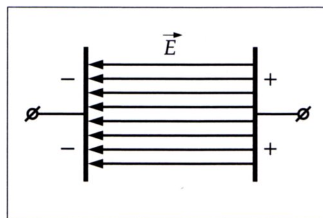
5. Ką vadiname antena? Kaip jos atžvilgiu išsidėsto elektromagnetinės bangos elektrinis ir magnetinis laukas?

6. Mergaitė šukuojasi plaukus įsielektrinusiomis šukomis. Ar aplink šukas susidaro elektromagnetinės bangos? Atsakymą pagrįskite.

7. Remdamiesi 6.1.7 paveikslu, pavaizduokite magnetinio lauko jėgų linijas. Tarkite, kad elektrinis laukas tarp kondensatoriaus plokštelių stiprėja.

8. Kurios lauko charakteristikos periodiškai kinta sklindančioje elektromagnetinėje bangoje?

9. Kai įelektrinta ebonitinė[1] lazdelė priartinama prie nuolatinio magneto, toje pačioje erdvėje atsiranda elektrinis ir magnetinis laukas. Ar galima sakyti, kad joje yra elektromagnetinis laukas? Atsakymą pagrįskite.



6.1.7 pav.

[1] Ebonìtas (angl. *ebonite* < gr. *ebenos* – juodmedis) – juodas, stangrus, stiprus, elektrai nelaidus, chemiškai atsparus kaučiuko arba gumos vulkanizatas, kuriame yra apie 60 % sieros.

6.2. Elektromagnetinių bangų skalė

Pagrindinės sąvokos

Elektromagnètinių bangų̃ skãlė,
infraraudonóji spinduliuõtė,
regimóji spinduliuõtė,
ultraviolètinė spinduliuõtė,
reñtgeno spinduliuõtė,
gamà spinduliuõtė,
fotosìntezės reãkcija.

Mus supančioje aplinkoje gausu elektromagnetinių bangų. Jas skleidžia elektros perdavimo linijos, radijo ir televizijos stotys, mobilieji telefonai, lazeriai, rentgeno aparatai ir kiti prietaisai. Žinomų elektromagnetinių bangų dažnis kinta nuo 3 Hz iki 10^{22} Hz. Šį dažnių diapazoną atitinka elektromagnetinės bangos,

kurių ilgis yra nuo 10^{-14} m iki 10^{8} m. ***Visos žinomos elektromagnetinės bangos nuo ilgiausių (šimtų tūkstančių kilometrų) iki trumpiausių (10^{-14} m eilės) sudaro elektromagnètinių bangų̃ skãlę.***

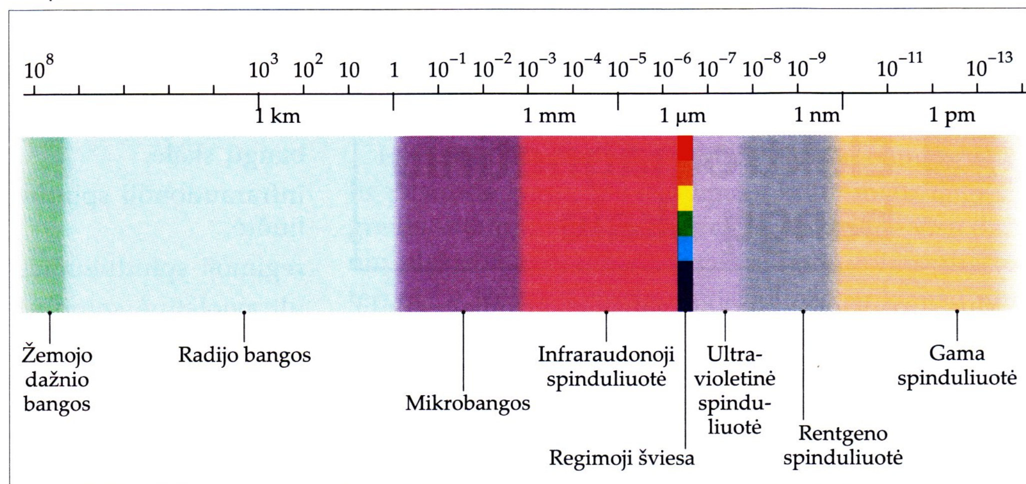
Pagal bangų ilgį ir dažnį elektromagnetinių bangų skalė skirstoma į aštuonias sritis (6.2.1 pav.): žemojo dažnio bangas, radijo bangas, mikrobangas, infraraudonąją spinduliuotę, regimąją spinduliuotę, ultravioletinę spinduliuotę, rentgeno spinduliuotę ir gama spinduliuotę. Įvairių skalės sričių ribos yra sąlygiškos, nes bangų savybės, kintant ilgiui, keičiasi palaipsniui. Principinio skirtumo tarp įvairių bangų grupių nėra. Visas jas skleidžia su pagreičiu judančios elektringosios dalelės. Bet kurio ilgio bangos vakuume sklinda $3 \cdot 10^{8}$ m/s greičiu. Tačiau trumposios bangos nuo ilgųjų iš esmės skiriasi tuo, kad turi dalelių savybių.

Apie visas elektromagnetines bangas jau esate šiek tiek girdėję. Prisiminkime, kas yra žinoma, ir tas žinias praplėskime.

Žẽmojo dãžnio elektromagnètines bangàs spinduliuoja standartinio dažnio kintamoji elektros srovė, tekėdama elektros perdavimo linijų laidais.

Rãdijo bangų̃ dažnis 3–10^{9} Hz, ilgis 0,3–10^{8} m. Radijo bangas skleidžia taip pat kintamoji elektros srovė. Kadangi šių bangų dažnis aukštesnis negu žemojo dažnio bangų, tai jos turi daugiau energijos ir naudojamos informacijai perduoti. Plačiau apie jų taikymą radijo ir televizijos ryšiui sužinosite skaitydami kitą temą.

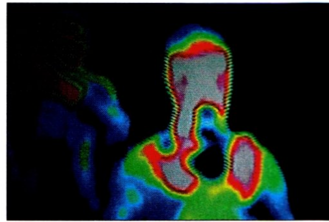
6.2.1 pav.



Mikrobangų dažnis 10^9–$3 \cdot 10^{11}$ Hz, ilgis 10^{-3}–0,3 m. Mikrobangos naudojamos kosminiam ryšiui palaikyti, taip pat buitinėse mikrobangų krosnelėse. Krosnelių mikrobangų dažnis parenkamas toks, kad atitiktų rezonansinį vandens, riebalų ar cukraus molekulių virpesių dažnį. Per indą su maistu šios bangos prasiskverbia, tačiau atsispindi nuo metalinių krosnelės sienelių. Molekulės verčiamos virpėti. Dėl to pakyla maisto, kuriame yra mikrobangas sugeriančių molekulių, temperatūra.

Infraraudonõsios spinduliuõtės dažnis $3 \cdot 10^{11}$–$3{,}95 \cdot 10^{14}$ Hz, bangos ilgis 760 nm–1 mm. Šią spinduliuotę 1800 m. atrado anglų astronomas Viljamas Heršelis (*William Herschel*). Tirdamas regimosios šviesos temperatūrą, jis pastebėjo, kad aukščiausia ji yra už raudonosios šviesos ribos. Ši nematoma spinduliuotė pagal jos padėtį elektromagnetinių bangų skalėje buvo pavadinta infraraudonąja (lot. *infra* – žemiau, po). Infraraudonąją spinduliuotę sukelia kūno molekulių svyravimas, sukimasis. Ją skleidžia įkaitę kūnai, kurių molekulės juda intensyviai. Todėl infraraudonoji spinduliuotė dar vadinama šilumine. Žmogaus oda jaučia šią spinduliuotę. Ji sukelia šilumos pojūtį.

Specialioje infraraudonajai spinduliuotei jautrioje fotojuostoje galima sudaryti šiluminius atvaizdus (6.2.2 pav.). Infraraudonosios spinduliuotės detektoriais ieškoma gaisrų ar žemės drebėjimų aukų (6.2.3 pav.), iš kosminių palydovų stebimas javų augimas, matuojama Žemės paviršiaus temperatūra. Infraraudonoji spinduliuotė naudojama televizoriams, vaizdo leistuvams, garso grotuvams ir kitiems elektroniniams prietaisams valdyti per atstumą (6.2.4 pav.).



6.2.2 pav.



6.2.3 pav.

6.2.4 pav.



Regimõsios spinduliuõtės dažnis $3{,}95 \cdot 10^{14}$–$7{,}79 \cdot 10^{14}$ Hz, bangos ilgis 390–760 nm. Jos šaltinis – elektronų šuoliai atomuose iš aukštesnių energijos lygmenų į žemesnius. Plačiau apie tai nagrinėsite atomo fizikos skyriuje. Be to, regimąją spinduliuotę skleidžia su pagreičiu judantys elektronai.

Regimoji spinduliuotė turi įtakos cheminėms reakcijoms. Veikiami šviesos, žali medžių ir žolės lapai, spygliai, daugelis mikroorganizmų sugeria iš oro anglies dioksidą ir suskaido jo molekules į anglį ir deguonį. Šios reakcijos vadinamos ***fotosìntezės reãkcijomis***. Jos vyksta chlorofilo molekulėse. Prijungdami



6.2.5 pav.

prie anglies grandinės kitų elementų atomus, ištrauktus šaknimis iš žemės, augalai sudaro baltymų, riebalų ir angliavandenių molekules. Kasmet apie 200 milijardų tonų anglies, susidariusios fotosintezės metu, sunaudojama sudėtingoms organinėms molekulėms kurti.

Regimąją spinduliuotę registruoja žmonių ir gyvūnų akys, fotoelementai, fotojuostos. Žmogaus akis jautriausia regimajai spinduliuotei, kurios bangos ilgis 560 nm (žalia spalva). Skirtingo dažnio (ilgio) regimoji spinduliuotė, veikdama žmogaus akies tinklainę, sukelia skirtingos spalvos (raudonos, oranžinės, geltonos, žalios, žydros, mėlynos, violetinės) pojūtį.

Daugiau apie regimąją spinduliuotę sužinosite optikos skyriuje.

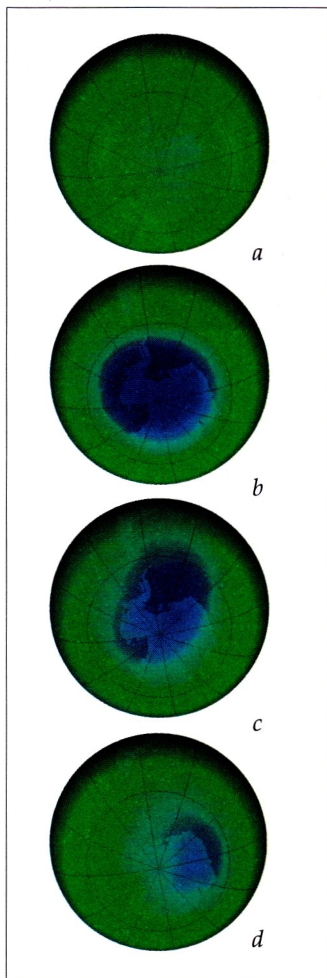
Ultravioletinės spinduliuõtės dažnis $8 \cdot 10^{14}$–10^{16} Hz, bangos ilgis 30–380 nm. Šią spinduliuotę 1801 m. atrado vokiečių fizikas Johanas Riteris (*Johann Ritter*), tirdamas įvairios spinduliuotės fotocheminį veikimą. Jis pastebėjo, kad sidabro chloridas, palaikytas už violetinės spektro ribos (lot. *ultra* – virš, už) patamsėja labiau negu veikiamas regimosios šviesos. Ultravioletinę spinduliuotę sukelia elektronų šuoliai atomuose iš vieno energijos lygmens į kitą ir labai karštų kūnų spinduliavimas.

Žmogus nemato ultravioletinės spinduliuotės, nes ją sugeria akies ragena ir lęšiukas. Tačiau tie žmonės, kuriems per operaciją lęšiukas buvo pašalintas, šią spinduliuotę gali matyti (jos bangos ilgis 300–350 nm). Manoma, kad ultravioletinę spinduliuotę mato kai kurie gyvūnai.

Ultravioletinė spinduliuotė tinka švytinčioms cheminėms medžiagoms gaminti. Neintensyvi naudojama specialiems scenos efektams kurti (6.2.5 pav.), nedidelės jos dozės teigiamai veikia žmogaus organizmą, skatina vitamino D gamybą, sukelia odos įdegimo efektą, naikina ligas sukeliančias bakterijas, didelės gali nudeginti odą, sukelti vėžį, susilpninti imuninę sistemą.

Ultravioletinę spinduliuotę slopina Žemės atmosfera, o ypač gerai – jos ozono sluoksnis. Dėl to mokslininkai ir ekologai nerimauja dėl padidėjusios Žemės atmosferos taršos ir su ja susijusio ozono sluoksnio plonėjimo (6.2.6 pav.; *a* – 1979 m., *b* – 1987 m., *c* – 1997 m., *d* – 2005 m.).

6.2.6 pav.



Reñtgeno spinduliuõtės dažnis 10^{16}–10^{20} Hz, bangos ilgis $3 \cdot 10^{-12}$–$3 \cdot 10^{-8}$ m. Šią spinduliuotę 1895 m. atrado vokiečių fizikas Vilhelmas Konradas Rentgenas (*Wilhelm Konrad Röntgen*).

Rentgeno spinduliuotė sužadinama stabdant greituosius elektronus. Ji veikia fotografinę plokštelę, jonizuoja orą, yra labai skvarbi, gali pereiti pro storą knygą, keleto centimetrų storio medinę lentą, 1 cm storio metalinę plokštelę, žmogaus kūną. Dėl didelės skvarbos rentgeno spinduliuotė naudojama technikoje metalinių detalių defektams nustatyti (defektoskopija), neorganinių ir organinių junginių, taip pat kristalinei kietųjų kūnų sandarai tirti.

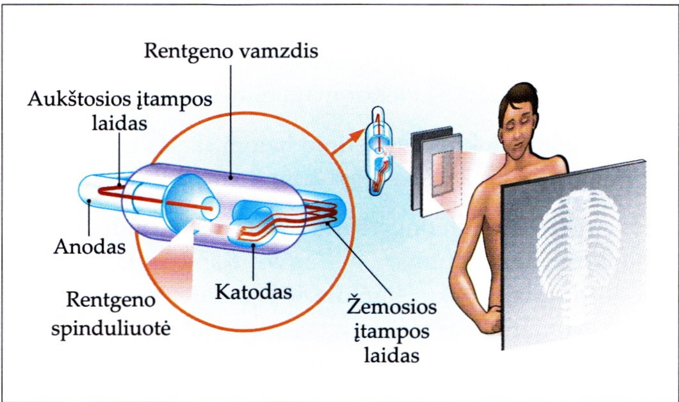
Praėjus vos keletai savaičių po atradimo, rentgeno spinduliuotė imta taikyti medicinoje. Ši spinduliuotė gali prasiskverbti pro minkštuosius audinius, bet ją sulaiko tankesnės medžiagos, kaulai, metalai, dėl to ji tinka kaulų lūžių diagnostikai. Galima išskirti tris rentgeno spinduliuotės taikymo medicinoje sritis:

1) rentgenodiagnostika (organams šviesti): rentgenoskopija, rentgenografija (6.2.7 pav.);

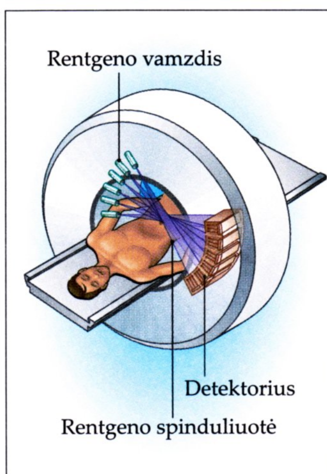
2) rentgenotomografija ir kompiuterinė tomografija (6.2.8 pav.);

3) rentgenoterapija (dažniausiai piktybiniams augliams švitinti).

Atliekant kompiuterinę rentgenotomografiją, tiriama kūno vieta „supjaustoma" sluoksniais ir monitoriaus ekrane gaunamas kompiuteriu apdorotas vaizdas. Šiuo atveju rentgeno vamzdis nėra nejudantis, kaip įprastiniuose rentgenografiniuose aparatuose. Jis sukasi, o spinduliai, perėję tiriamą sritį, pakliūna į



6.2.7 pav.



6.2.8 pav.

detektorius (6.2.8 pav.). Paskui vaizdas apdorojamas kompiuteriu, vertinamas ekrane ir siunčiamas į filmavimo kamerą arba archyvuojamas.

Rentgeno spinduliuotę skleidžia šimtai žvaigždžių, galaktikos ir kiti dangaus kūnai.

Gamà spinduliuõtės dažnis didesnis kaip 10^{20} Hz. Tai atitinka bangas, ilgesnes negu $3 \cdot 10^{-12}$ m. Šią spinduliuotę 1900 m. atrado Polis Vilaras (*Paul Villar*). Tirdamas radžio spinduliavimą stipriame magnetiniame lauke, jis pastebėjo elektromagnetinę spinduliuotę. Plačiau apie šį bandymą ir apie gama spinduliuotės savybes sužinosite nagrinėdami radioaktyvumo reiškinį.

Klausimai ir užduotys ??

1. Ką vadiname elektromagnetinių bangų skale?

2. Išvardykite šią skalę sudarančias bangas jų dažnio didėjimo tvarka.

3. Įvardykite skirtingų elektromagnetinių bangų šaltinius.

4. Nurodykite, kas sukelia fotosintezės reakciją. Užrašykite fotosintezės reakcijos lygtį.

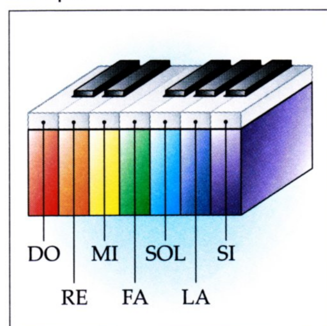
5. 6.2.9 paveiksle pavaizduotas mokinių vakaras prie laužo. Įvardykite, kokias elektromagnetines bangas skleidžia paveiksle pavaizduoti kūnai.


6.2.9 pav.

6. Šiuo metu vis dažniau įprastiniai stikliniai akiniai keičiami pagamintais iš plastiko. Kurie iš jų yra geresni? Atsakymą pagrįskite remdamiesi elektromagnetinių bangų savybėmis.

7. Remdamiesi žiniomis apie garso ir elektromagnetines bangas, taip pat 6.2.10 paveikslu, nurodykite, kuo panašios ir kuo skiriasi elektromagnetinės ir garso bangos.

6.2.10 pav.



8. Kurioms elektromagnetinių bangų skalės sritims priskiriamos tokio ilgio bangos: 2 m; 2 cm; 2 μm; 2 nm?

9. Atlikite nesudėtingą bandymą. Jam pakanka namų aplinkos: radijo imtuvo, šviestuvo. Kambaryje įjunkite radijo imtuvą. Paskui įjunkite ir išjunkite šviestuvą. Ar šviestuvo įjungimas ir išjungimas turi įtakos radijo imtuvo darbui? Atsakymą pagrįskite.

6.3. Radijo ryšys. Elektroninis generatorius

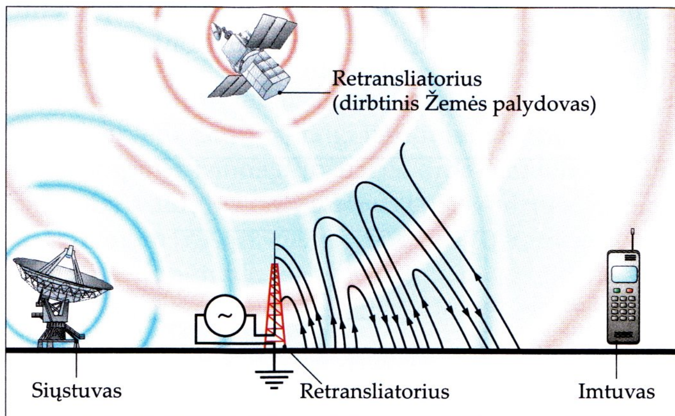
Radijo ryšio samprata

Garsas yra žmonių bendravimo priemonė, tačiau jis sklinda netoli. Norint perduoti informaciją didesniais atstumais, tenka naudoti kitas ryšio priemones. Informaciją galima paversti elektromagnetiniais signalais ir pasiųsti laidais (telegrafu, laidiniu telefonu). Šiuo metu laidinis ryšys nėra vienintelė informacijos perdavimo priemonė. Informacija dažnai siunčiama elektromagnetinėmis bangomis. Bevieliam ryšiui jas pirmą kartą 1895 m. pritaikė rusų fizikas Aleksandras Popovas.

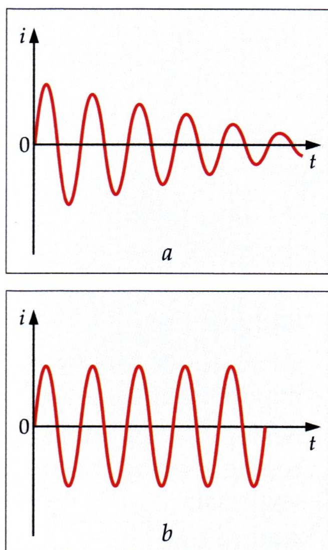
Kai kuriose veiklos srityse informacija perduodama tik elektromagnetinėmis bangomis. Pavyzdžiui, jomis ryšys palaikomas tarp alpinistų, laivų, lėktuvų, kosminių objektų. ***Informacijos perdavimas ir priėmimas radijo bangomis ir mikrobangomis vadinamas rãdijo ryšiù*** (žr. elektromagnetinių bangų skalę). Svarbiausi radijo ryšio elementai yra siųstùvas, imtùvas ir retransliãtorius (6.3.1 pav.). Siųstuvo antenoje sužadinta aukštojo dažnio kintamoji srovė aplink ją sukelia elektromagnetinę bangą. Ši sklinda erdvėje ir, pasiekusi priėmimo anteną, joje sukelia tokio pat dažnio kintamąją srovę, kokio dažnio bangas siunčia siųs-

Pagrindinės sąvokos

Rãdijo ryšỹs,
slopìnamieji elektromagnètiniai virpesiaĩ,
neslopìnamieji elektromagnètiniai virpesiaĩ,
elektròninis generãtorius.



6.3.1 pav.



6.3.2 pav.

tuvas. Tarp siųstuvo ir imtuvo įrengiami retransliatoriai – įrenginiai, kurie priima siųstuvo siunčiamas elektromagnetines bangas (signalus), jas sustiprina ir perduoda imtuvui. Jie sudaro galimybę perduoti elektromagnetines bangas dideliais atstumais.

Elektromagnetinių virpesių rūšys

Kaip ir mechaniniai svyravimai, elektromagnetiniai virpesiai gali būti slopinamieji ir neslopinamieji. Virpesiai, kurių amplitudė ilgainiui mažėja, vadinami ***slopìnamaisiais*** (6.3.2 pav., *a*), o kurių nekinta – ***neslopìnamaisiais*** (6.3.2 pav., *b*).

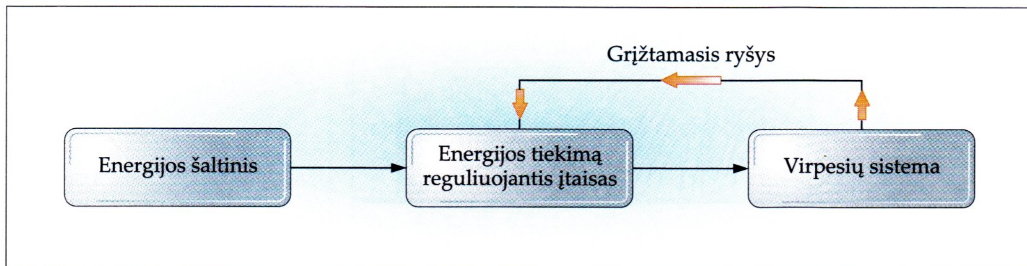
Aukštojo dažnio neslopinamųjų elektromagnetinių virpesių gavimas

Žinome, kad neslopinamuosius elektromagnetinius virpesius sukelia elektrinių generatoriai, tačiau radijo ryšiui jie netinka, nes mažas dažnis (50 Hz). Radijo ryšiui palaikyti reikalingi aukštojo dažnio virpesiai. Jiems sukelti naudojamas ***áukštojo dãžnio virpesių̃ generãtorius***, kitaip dar vadinamas ***elektròniniu generãtoriumi***. Toks generatorius yra visose radijo stotyse ir daugelyje kitų radiotechninių įrenginių. Elektroninį generatorių sudaro keturi struktūriniai elementai (6.3.3 pav.):

• virpesių sistema, t. y. ta dalis, kurioje sukeliami slopinamieji elektromagnetiniai virpesiai (virpesių sistema yra virpesių kontūras);

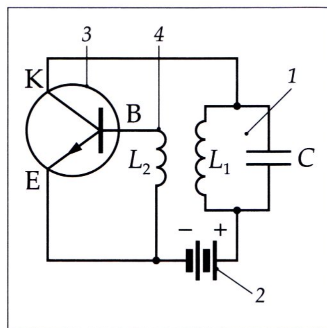
• energijos šaltinis, t. y. generatoriaus dalis, tiekianti energiją virpesių sistemai, kad virpesiai joje nenusloptų (energijos nuostolius virpesių kontūre papildo nuolatinės įtampos šaltinis);

6.3.3 pav.



- energijos tiekimą iš šaltinio į virpesių sistemą reguliuojantis įtaisas, t. y. jungiklis, reikiamu momentu įjungiantis ir išjungiantis elektrinę grandinę (tokio jungiklio vaidmenį atlieka tranzistorius arba vakuuminis triodas);
- jungiklį valdantis prietaisas, kuris reikiamu metu įjungia ir išjungia energijos tiekimą reguliuojantį tranzistorių arba vakuuminį triodą (šią grįžtamąją funkciją atlieka dvi ritės).

Struktūrinį elektroninio generatoriaus modelį pakeiskime detalia schema (6.3.4 pav.), kurią sudaro virpesių kontūras *1*, nuolatinės įtampos šaltinis *2*, tranzistorius *3* ir į tranzistoriaus bazės grandinę įjungta ritė *4*. Įkrovus kondensatorių, virpesių kontūre atsiranda slopinamieji elektromagnetiniai virpesiai, kurių dažnis priklauso nuo ritės induktyvumo ir kondensatoriaus talpos:

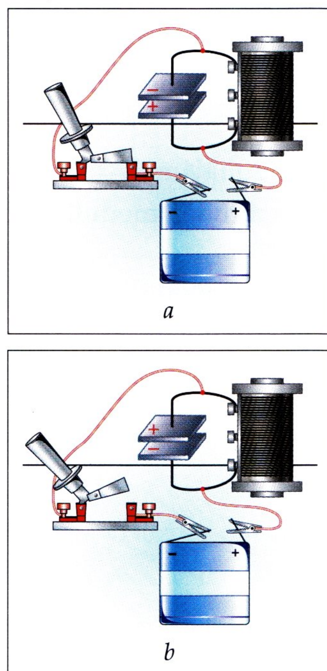


6.3.4 pav.

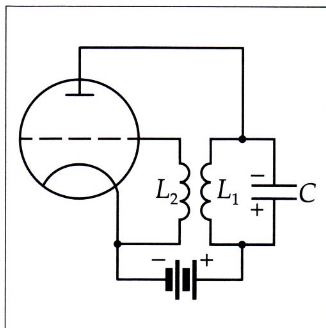
$$\nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}. \qquad (6.1)$$

Kad šie virpesiai nenusloptų, reikia kompensuoti kiekvieno periodo energijos nuostolius, papildomai įkraunant kondensatorių. Dėl to jis turi būti trumpam prijungiamas prie nuolatinės įtampos šaltinio tais laiko momentais, kai kondensatoriaus plokštelių krūvio ženklai atitinka šaltinio polių ženklus (6.3.5 pav., *a*). Tada kondensatoriaus energija didėja. Po pusės periodo kondensatorius persikrauna ir jo plokštelių krūvio ženklai pasikeičia (6.3.5 pav., *b*). Kad virpesių sistema tais laiko momentais neprarastų energijos, nuolatinės įtampos šaltinį reikia atjungti nuo virpesių kontūro.

6.3.5 pav.



Elektromagnetinių virpesių dažnis yra didelis, todėl jungiklis turi veikti didele sparta. Įprastas jungiklis šiuo atveju netinka, taigi naudojamas tranzistorius arba lempinis triodas. Jo bazės arba tinklelio potencialą turi valdyti kontūre vykstantys virpesiai. Šiam grįžtamajam ryšiui palaikyti į tranzistoriaus bazės grandinę įjungiama ritė *4*, turinti indukcinį ryšį su virpesių kontūro rite. Dėl elektromagnetinės indukcijos srovės virpesiai kontūre sukelia įtampos virpesius ritės *4* galuose, o kartu ir tranzistoriaus bazės potencialo virpesius.



6.3.6 pav.

Klausimai ir užduotys

1. Ką vadiname radijo ryšiu? Išvardykite svarbiausias jo dalis.

2. Kokia yra elektroninio generatoriaus paskirtis?

3. Nurodykite pagrindinius struktūrinius elektroninio generatoriaus elementus. Kokia yra jų paskirtis?

4. Elektroninio generatoriaus ritės induktyvumas buvo padidintas 2 kartus, o kondensatoriaus talpa sumažinta 8 kartus. Kaip ir kiek kartų pakito elektromagnetinių virpesių dažnis?

5. 6.3.6 paveiksle pavaizduota elektroninio generatoriaus schema. Joje pažymėtas kondensatoriaus plokštelių krūvio ženklas tam tikru laiko momentu. Kuria kryptimi tuo metu teka elektros srovės triodo tinklelio grandine? Atsakymą pagrįskite.

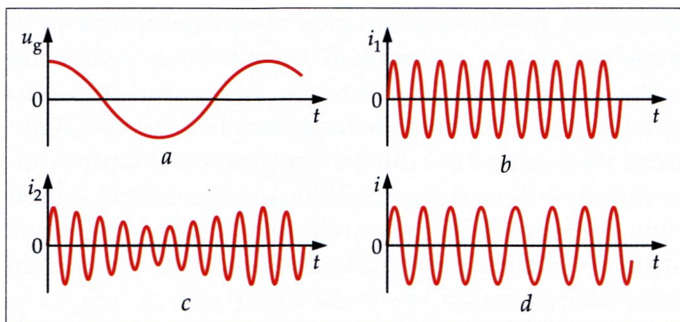
6.4. Radijo ryšio principai. Radijo imtuvas

Pagrindinės sąvokos

Moduliãvimas,
amplitùdės moduliãvimas,
dãžnio moduliãvimas,
moduliúotieji virpesiaĩ,
detektãvimas.

Virpesių moduliavimas

Aptarkime pagrindinius radijo ryšio principus, kitaip tariant, atsakykime į tokius klausimus: kaip garsas (kalba, muzika) perduodamas elektromagnetinėmis bangomis, kaip jis iš radijo stočių atkeliauja pas mus, vartotojus? Pirmasis garso perdavimo etapas yra aukštojo dažnio elektromagnetinių virpesių moduliavimas. Kaip tai vyksta? Mikrofone garsas (kalba, muzika ir pan.) paverčiamas žemojo dažnio elektromagnetiniais virpesiais (6.4.1 pav., *a*). Tokio dažnio elektromagnetinės bangos beveik nespinduliuojamos, todėl mikrofone gautus virpesius galima perduoti tik telefono laidais. Norint garsą perduoti elektromagnetinėmis bangomis, tenka naudoti aukštojo dažnio elektromagnetinius virpesius (6.4.1 pav., *b*). Jie vadinami nėšančiaisiais virpesiaĩs, arba nešliaĩs. ***Aukštojo***

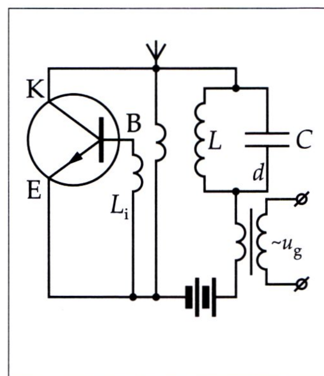


6.4.1 pav.

dažnio elektromagnetinių virpesių susiejimas su žemojo dažnio virpesiais vadinamas moduliãvimu (lot. *modulatio* – ritmingumas, darnumas). Telefono ryšiui taikomi du moduliavimo būdai: amplitudės moduliavimas ir dažnio moduliavimas.

Aukštojo dažnio virpesių amplitudės keitimas garsiniu dažniu vadinamas amplitùdės moduliãvimu. Kaip jis realizuojamas? Į aukštojo dažnio virpesių generatoriaus grandinę nuosekliai su virpesių kontūru įjungiama pirminė transformatoriaus ritė (6.4.2 pav.). Prie antrinės jo ritės prijungiama žemojo (garsinio) dažnio kintamoji įtampa, pavyzdžiui, iš mikrofono išėję sustiprinti elektriniai virpesiai. Jie sukelia kintamąją įtampą (6.4.1 pav., *a*) pirminės ritės galuose. Dėl to aukštojo dažnio srovės stiprio virpesių amplitudė (6.4.1 pav., *b*) ima kisti garsiniu dažniu (6.4.1 pav., *c*). Šie aukštojo dažnio virpesiai vadinami ***moduliúotaisiais virpesiaĩs***.

Garsiniu dažniu galima keisti ir aukštojo dažnio virpesių dažnį. Toks virpesių dažnio keitimo būdas vadinamas ***dãžnio moduliãvimu***. Moduliuotojo dažnio virpesiai (6.4.1 pav., *d*) yra kur kas geresnės kokybės negu moduliuotosios amplitudės.



6.4.2 pav.

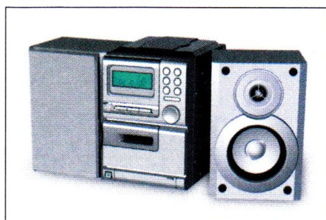
Radijo imtuvas

Radijo imtuvas – įprastas prietaisas mūsų buityje. Jo istorija prasidėjo XIX a. pabaigoje. 1893 m. Nikolas Tesla pademonstravo pirmąją radijo transliaciją, sakydamas kalbą Filadelfijos Franklino institute. Vėliau prancūzų fizikas Eduardas Brandlis ir rusų fizikas Aleksandras Popovas sukūrė pagerintus bangų imtuvus. 1895 m. gegužės 7 d. Peterburge Popovas pademonstravo, kaip veikia jo sukonstruotas radijo bangų



6.4.3 pav.

6.4.4 pav.







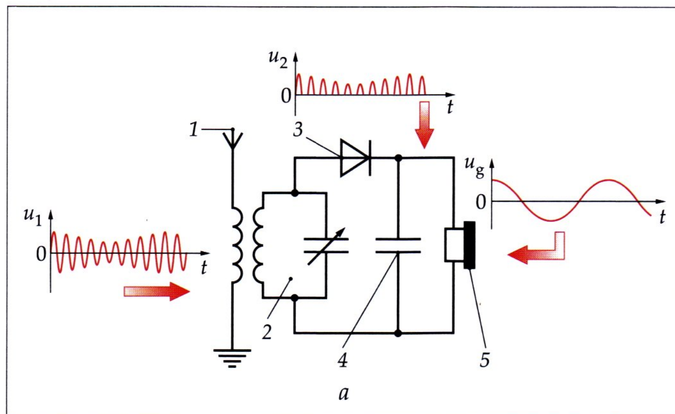
priėmimo prietaisas. Jis laikomas pirmuoju eksperimentiniu radijo imtuvu (6.4.3 pav.). XX a. radijo imtuvai buvo nuolat tobulinami. Lempinius imtuvus pakeitė tranzistoriniai. Pirmąjį tranzistorinį radijo imtuvą 1960 m. sukūrė „Sony“ korporacija. Tranzistoriniai imtuvai yra daug mažesni ir saugesni už lempinius. 1994 m. JAV gynybos departamento iniciatyva sukurtas skaitmeninis[1] radijas. Šiuo metu naudojami labai įvairūs radijo imtuvai (6.4.4 pav.).

Paprasčiausią radijo imtuvą (6.4.5 pav., *a*) sudaro antena *1*, virpesių kontūras *2*, puslaidininkinis diodas *3*, kondensatorius *4* ir apkrova *5*. Pagrindinė radijo imtuvo funkcija – priimti moduliuotuosius aukštojo dažnio virpesius. Tai vyksta radijo imtuvo antenoje *1* ir virpesių kontūre *2*. Šio proceso pagrindas yra elektrinis rezonansas (žr. 5.7 temą).

Virpesių detektavimas radijo imtuve

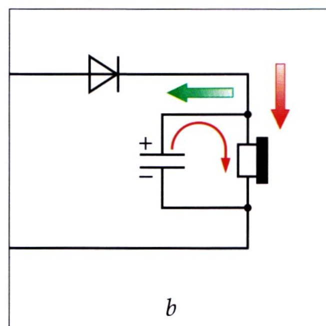
Kita svarbi radijo imtuvo funkcija yra aukštojo dažnio signalo detektãvimas (lot. *detectio* – atidengimas). Net ir sustiprintas, aukštojo dažnio signalas negali tiesiogiai garsiniu dažniu virpinti telefono ar garsiakalbio membranos. Aukštojo dažnio virpesių žmogaus ausis negirdi. Todėl iš moduliuotųjų aukštojo dažnio virpesių reikia išskirti žemojo (garsinio) dažnio virpesius. ***Procesas, kurio metu iš moduliuotųjų aukštojo dažnio virpesių atkuriami žemojo dažnio virpesiai, vadinamas detektãvimu.***

6.4.5 pav.

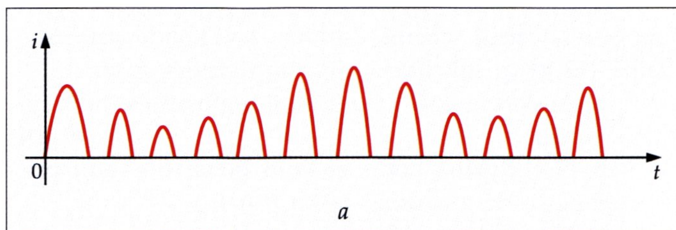


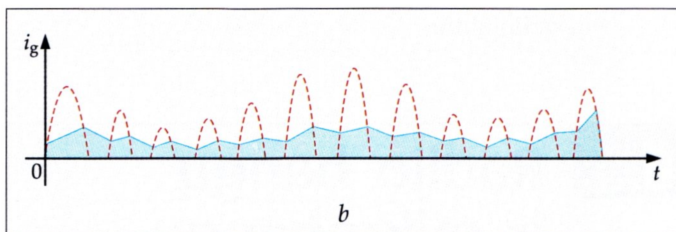
[1] Plačiau apie skaitmeninį ryšį skaitykite 6.6 temoje.

Radijo imtuve tai atlieka įtaisas, turintis vienpusio laidumo elementą – ***detèktorių***. Juo gali būti puslaidininkinis diodas *3*, praleidžiantis elektros srovę tik viena kryptimi. Dėl to imtuvo grandine teka pulsuojančioji srovė (6.4.6 pav., *a*). Jos pulsacijas sumažina filtras – prie apkrovos prijungtas kondensatorius *4*. Kai diodu teka srovė, dalis jos tenka apkrovai, o dalis atsišakoja ir įkrauna kondensatorių (žalia rodyklė 6.4.5 pav., *b*). Kai diodu srovė neteka, kondensatorius išsikrauna ir apkrova (raudona rodyklė 6.4.5 pav., *b*) vėl teka tos pačios krypties elektros srovė (6.4.6 pav., *b*). Apkrova tekančios garsinio dažnio srovės virpesiai yra beveik tiksliai tokios pat formos kaip žemojo dažnio virpesiai mikrofono grandinėje (6.4.1 pav., *a*). Ši srovė verčia virpėti telefono membraną. Taip radijo imtuve elektromagnetiniai virpesiai virsta garsais, kurie buvo perduoti į mikrofoną.



6.4.5 pav.





6.4.6 pav.

Klausimai ir užduotys

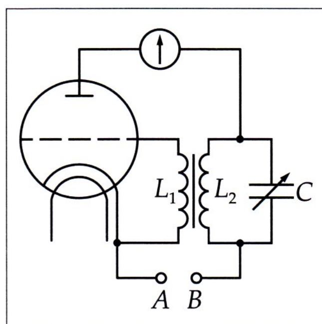
1. Kokius žinote radijo ryšio principus?

2. Kuo skiriasi aukštojo dažnio virpesių generatoriaus ir amplitudės moduliavimo įtaiso schemos?

3. Paaiškinkite, kaip moduliuojama amplitudė.

4. Kuo skiriasi amplitudės ir dažnio moduliavimas?

5. Paaiškinkite, kaip radijo imtuve detektuojami virpesiai.



6.4.7 pav.

6. Virpesių kontūras sudarytas iš 2 μH induktyvumo ritės ir 1800 pF talpos kondensatoriaus. Apskaičiuokite:

a) kontūre vykstančių elektromagnetinių virpesių dažnį; (2,7 · 10^6 Hz)

b) vakuume sklindančios elektromagnetinės bangos ilgį. (111 m)

7. Virpesių kontūras vakuume sukuria 200 m ilgio elektromagnetines bangas. Kontūro ritės induktyvumas 0,5 mH. Apskaičiuokite kontūro elektrinę talpą. (22,5 pF)

8. Medicininiame prietaise įtaisytas virpesių kontūras, kurį sudaro 6000 pF talpos kondensatorius ir ritė. Kontūras suderintas su 2000 m ilgio banga. Apskaičiuokite ritės induktyvumą. (1,8 · 10^{-4} H)

9. Jūroje laivai nelaimės signalą siunčia 600 m ilgio elektromagnetinėmis bangomis. Apskaičiuokite nelaimės signalo dažnį. (0,5 MHz)

10. 6.4.7 paveiksle pavaizduota aukštojo dažnio virpesių generatoriaus schema. Tarkime, kad kondensatoriaus talpa 112 μF, o sukeliamų virpesių dažnis 6 kHz.

a) Apskaičiuokite į kontūrą įjungtos ritės induktyvumą. (6,29 μH)

b) Nurodykite, kokie šaltinio poliai turi būti prijungti prie grandinės taškų *A* ir *B*.

c) Nurodykite, koks tai generatorius: lempinis ar puslaidininkinis.

6.5. Radijo bangų ir mikrobangų taikymas ryšio priemonėse

Pagrindinės sąvokos

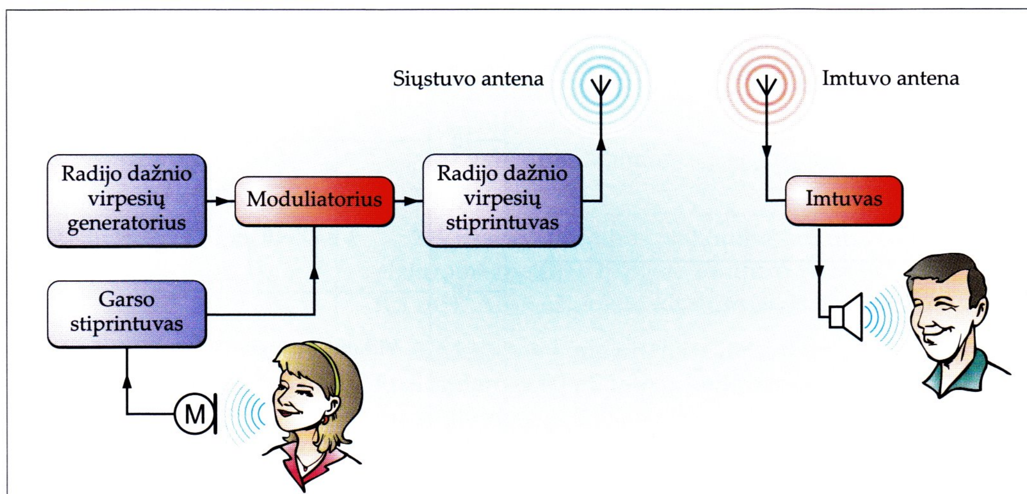
Telegrãfo ryšỹs, telefòno ryšỹs, televìzinis ryšỹs, radiolokãcija.

Radijo ryšio rūšys

Radijo ryšys būna keturių rūšių: ***telegrãfo ryšỹs, telefòno ryšỹs, televìzinis ryšỹs*** ir ***radiolokãcija***. Trumpai aptarkime kiekvieną rūšį. Toliau pateikiamoje lentelėje nurodytas skirtingų rūšių radijo ryšio bangų ilgis, dažnis ir perduodamo signalo pobūdis.

Signalo pobūdis	λ, m	Bangų rūšis	ν, Hz	
	10^4			
Telegrafo ryšys		Ilgosios bangos (IB) $\lambda = 10^3–10^4$ m	10^5	Radijo bangos
	10^3			
Telefono ryšys		Vidutinės bangos (VB) $\lambda = 10^2–10^3$ m	10^6	Radijo bangos
	10^2			
		Trumposios bangos (TB) $\lambda = 10–10^2$ m	10^7	Radijo bangos
	10			
Televizinis ryšys (vaizdo signalas)		Ultratrumposios metrinės bangos (UTB)	10^8	Radijo bangos
	1			
Televizinis ryšys (garso signalas)		Ultratrumposios decimetrinės bangos	10^9	Radijo bangos / Mikrobangos
	10^{-1}			
Radiolokacija		Ultratrumposios centimetrinės bangos	10^{10}	Mikrobangos
	10^{-2}			
		Ultratrumposios milimetrinės bangos	10^{11}	Mikrobangos
	10^{-3}			

Telegrãfo ryšỹs – tai pirmasis informacijos perdavimo elektros impulsais būdas. Jam taikomas Morzės kodas. Telegrafo ryšys palaikomas ilgosiomis radijo bangomis. Perduodama informacija koduojama ilgų ir trumpų impulsų, atitinkančių Morzės abėcėlę, seka. Impulsas sukuriamas trumpam įjungiant elektrinį signalą.



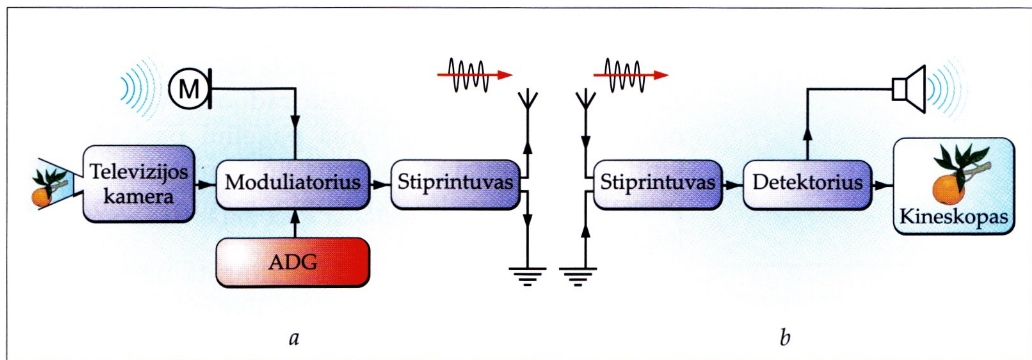
6.5.1 pav.

Telefòno ryšỹs – tai kalbos ir muzikos perdavimas radijo bangomis: trumposiomis ir ultratrumposiomis. Elektromagnetinių bangų skalėje šios bangos užima gana plačią sritį – nuo dešimčių kilohercų iki tūkstančių megahercų, o garso bangos, kurias girdime per radijo imtuvą ar telefoną, – nuo 20 Hz iki 20 000 Hz. Telefono ryšio struktūrinė schema pateikta 6.5.1 paveiksle.

Elektromagnetinių bangų priėmimą telefono ryšiu laiduoja elektrinis rezonansas. Sukant radijo imtuvo bangų valdymo rankenėlę, keičiama virpesių kontūro kondensatoriaus talpa, o kartu ir virpesių dažnis. Kai imtuvo virpesių kontūro dažnis sutampa su pasirinktos radijo stoties siųstuvo dažniu, iš daugybės priėmimo antenoje sužadintų elektromagnetinių virpesių išskiriami tie, kurie atitinka pasirinktą radijo stotį.

Televìzinis ryšỹs (gr. *tēle* – tolumoje, lot. *visio* – regėjimas) – judamų ir nejudamų objektų atvaizdų perdavimas per atstumą elektromagnetinėmis bangomis. Televizinio ryšio struktūrinė schema pavaizduota 6.5.2 paveiksle. Vaizdo signalus kuria televizijos kamera. Joje optinis daikto atvaizdas paverčiamas elektriniu signalu. Primename, kaip tai vyksta.

Daikto atvaizdas suprojektuojamas į elektroninio vamzdžio (vidikòno, supervidikòno) ekraną, sudarytą iš šviesai jautrių elementų. Įvairiai apšviesti, jie įgyja skirtingą krūvį. Elektroninis spindulys per vieną sekundę 25 kartus nuosekliai apibėga visus nevienodą elektros krūvį įgijusius ekrano taškus. Skirtin-



6.5.2 pav.

gas krūvis lemia skirtingus elektrinius impulsus – vaizdo signalus. Televizijos kamera per vieną sekundę sukuria ir išsiunčia daugiau kaip 13 milijonų vaizdo signalų.

Garso dažniu kintančius elektrinius virpesius sukuria mikrofonas. Televizijos siųstuve aukštojo dažnio (nešančiojo dažnio) virpesiai moduliuojami trejopais signalais: vaizdo, garso ir valdymo. Sustiprintus moduliuotuosius virpesius siųstuvo antena išspinduliuoja ultratrumposiomis radijo bangomis. Pasiekusios imtuvą (televizorių), aukštojo dažnio elektromagnetinės bangos antenoje sukelia elektromagnetinius virpesius. Jie detektuojami, t. y. paverčiami optiniais atvaizdais, kurie susidaro televizoriaus kineskopo ekrane.

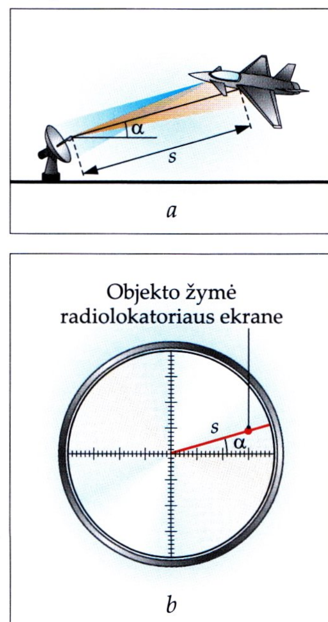
Radiolokãcija (lot. *radio* – spinduliuoju, *locatio, locus* – vieta) – objektų aptikimas ir atstumo iki jų nustatymas naudojant elektromagnetines bangas: ultratrumpąsias radijo bangas ir mikrobangas. Radiolokatoriaus antena siunčia objekto link elektromagnetines bangas ir priima jas, atsispindėjusias nuo to objekto (6.5.3 pav.). Žinant jų sklidimo greitį ($3 \cdot 10^8$ m/s) ir laiką, praėjusį nuo signalo pasiuntimo iki jo priėmimo momento, galima apskaičiuoti atstumą iki objekto:

$$2s = ct,$$

$$s = \frac{ct}{2}. \tag{6.2}$$

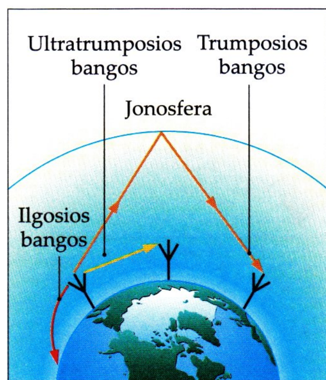
Radiolokacija taikoma lėktuvų, laivų, debesų sankaupų, planetų ir kitų kosminių objektų padėčiai, planetų orbitiniam ir sukimosi apie savo ašį greičiui ir paviršiui nustatyti.

6.5.3 pav.



Radijo bangų sklidimas

Vakuume radijo bangos sklinda šviesos greičiu. Prie Žemės paviršiaus sklindančių radijo bangų sklidimo nuotolį ir trajektoriją lemia pakeliui pasitaikančios kliūtys, viršutiniai atmosferos sluoksniai, kurių būklė priklauso nuo Saulės aktyvumo, metų sezono, paros laiko.



6.5.4 pav.

Ilgosios radijo bangos (IB) užlinksta už kalnų, už horizonto (6.5.4 pav.). Kuo jos ilgesnės, tuo labiau išryškėja šios savybės. Trumposios bangos už horizonto beveik neužlinksta, tačiau gerai atsispindi nuo jonosferos sluoksnio. (Jonosfera – atmosferos sluoksnis, kuris prasideda 40 km aukštyje virš Žemės paviršiaus ir tęsiasi apie 300 km.) Atspindį lemia Saulės aktyvumas. Kuo jis didesnis, tuo stipresnė jonizacija, taigi tuo geriau jonosfera atspindi žemojo dažnio elektromagnetines bangas. Vienu „šuoliu“ trumposios bangos nuskrieja apie 4000 km, o keliais apeina visą Žemės rutulį.

Žemės ir palydovinės televizijos stotys naudoja ultratrumpąsias bangas, sklindančias tik tiesiomis linijomis (6.5.4 pav.). Ultratrumposios bangos pasiekia tik tas vietas, kurios tiesiogiai matomos iš siųstuvo antenos. Šioms bangoms perduoti didesniais atstumais naudojami retransliatoriai.

Klausimai ir užduotys

1. Kokias žinote radijo ryšio rūšis?

2. Remdamiesi lentele (p. 227), telegrafo ryšio signalą palyginkite su naudojamu radiolokacijoje. Kuo jie panašūs ir kuo skiriasi?

3. Ką vadiname telefono ryšiu?

4. Kuo pagrįstas elektromagnetinių bangų priėmimas telefono ryšiu? Kaip jis realizuojamas?

5. Imtuvo virpesių kontūro kondensatoriaus talpa $4 \cdot 10^{-10}$ F, o ritės induktyvumas $9 \cdot 10^{-4}$ H. Nustatykite:

a) kokio ilgio elektromagnetines bangas gali priimti imtuvas;

b) ar gali jis priimti 110 m ilgio elektromagnetines bangas.

6. Radijo imtuvas priima 25 m ilgio bangas.

a) Nurodykite, kokios rūšies ryšys šiuo atveju palaikomas.

b) Apskaičiuokite, kiek kartų reikėtų pakeisti kondensatoriaus talpą, norint priimti dvigubai ilgesnes elektromagnetines bangas. (4 kartus)

c) Paaiškinkite, kaip tai atliekama praktiškai.

7. Radijo imtuvo virpesių kontūro induktyvumas lygus 50 μH, o talpa gali kisti nuo 60 pF iki 240 pF. Kokio ilgio bangomis veikia šis imtuvas? (Nuo 3263 m iki 6526 m)

8. Ar iš esmės skiriasi radijo bangų sklidimas Mėnulyje ir Žemėje? Atsakymą pagrįskite.

9. Kodėl, radijo ryšiui naudojant trumpąsias bangas, atsiranda tylos zonų?

10. Kodėl kalnuotoje vietovėje sunkiau palaikyti radijo ryšį trumposiomis bangomis?

11. Veikiantį kišeninį radijo imtuvą įdėkite į kibirą ar puodą, o šį uždenkite dangčiu. Ką pastebite? Atsakymą pagrįskite.

12. Kodėl radiolokatorius siunčia radijo signalus trumpais impulsais, o ne nuolat?

13. Radiolokatorius pasiuntė signalą į objektą, esantį už 30 km. Po kiek laiko, atsispindėjęs nuo objekto, signalas grįš į radiolokatorių? (Po $2 \cdot 10^{-4}$ s)

14. Radiolokatorius kas sekundę pasiunčia 4000 impulsų. Nustatykite atstumą, kuriuo jis gali veikti. (37,5 km)

6.6. Skaitmeninės ryšio sistemos

Šiuo metu elektromagnetinėmis bangomis galima labai greitai (per keletą milisekundžių) perduoti didelį kiekį tiek žodinės, tiek vaizdinės informacijos. Prie asmeninių kompiuterių prijungę videofonus, žmonės gali bendrauti per atstumą, rengti videokonferencijas, rašytinę ir grafinę informaciją siųsti iš vieno kompiuterio į kitą. Videofonai vis plačiau taikomi mokymo procese. Jie ypač svarbūs pasirinkusiems

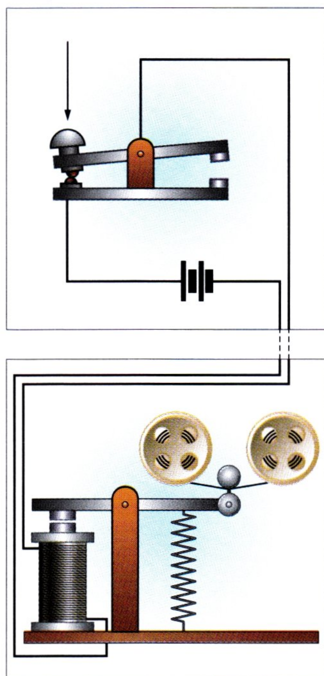
nuotolines studijas. Videofonai pradedami taikyti ir buityje. Jie padeda apsipirkti, naudotis duomenų bazėmis, bibliotekomis. Informacija keliauja skaitmeninėmis ryšio sistemomis, kurių veikimas pagrįstas skaitmeninių signalų perdavimu. Skaitmeninės ryšio sistemos taikomos telefoniniams pokalbiams, internete ir kitose veiklos srityse. Norėdami suprasti šių sistemų veikimo principą, išnagrinėkime dviejų rūšių elektrinius signalus, naudojamus informacijai perduoti: analoginį ir skaitmeninį.

Analoginis signalas

Analoginiame signale informacijos signalas ir perduodamas elektroninis signalas susiję tiesiogiai. Pavyzdžiui, radijo transliacijoje garso stipris tiesiogiai keičia perduodamo signalo amplitudę. Nagrinėdami radijo ryšį, susipažinote būtent su analoginiais signalais. Amplitudės ir dažnio moduliavimas yra analoginiai moduliavimo būdai.

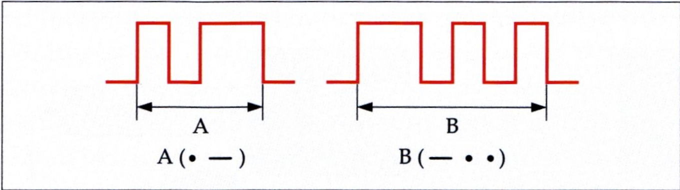
Analoginis moduliavimas veiksmingas radijo, televizijos ir telefono ryšio sistemose. Tačiau jis turi ir trūkumų. Pirma, šiuo būdu perduodama informacija yra atvira. Ją gali priimti bet kas, turintis suderintą imtuvą. Antra, informaciją galima priimti tik tuo metu, kai ji perduodama. Kadangi radijo bangų sritis perpildyta, perduoti analoginius signalus darosi vis sudėtingiau. Trečia, analoginiai signalai kinta tolygiai, todėl juos nesunku sutrikdyti, o informaciją iškraipyti. Skaitmeniniai signalai užima siauresnę dažnių juostą, yra ne tokie jautrūs elektriniams trikdžiams, dėl to jie šiuo metu vis plačiau naudojami informacijai perduoti.

6.6.1 pav.



Skaitmeninio signalo (kodo) samprata

Skaitmeninės ryšio sistemos ištakas galima įžvelgti XIX a. pirmosios pusės išradimuose. 1837 m. amerikietis Samjuelis Morzė (*Samuel Morse*) išrado elektromagnetinį rašantį telegrafo aparatą (6.6.1 pav.). Nuspaudus jo raktą, grandinė sujungiama. Kai raktas spustelimas trumpai, priėmimo stotyje įtaisytas rašiklis popieriaus juostoje palieka tašką, kai ilgiau –



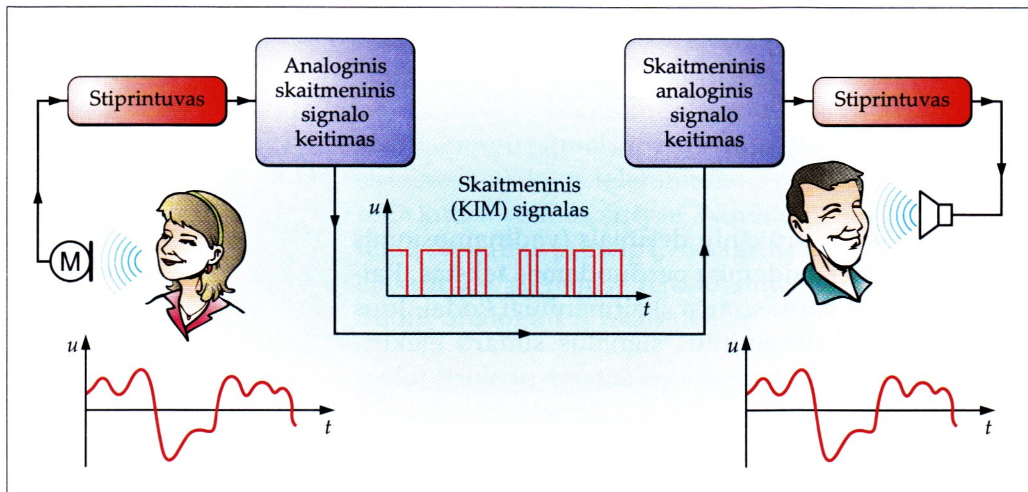
6.6.2 pav.

brūkšnį. Taškų ir brūkšnių deriniais (vadinamosiomis Morzės abėcėlės raidėmis) perduodamas tekstas. Raidžių kodai yra paprasčiausi skaitmeniniai kodai. Juos atitinkančius skaitmeninius signalus sudaro elektrinių impulsų sekos. Impulsams sutarta priskirti tokias skaitines vertes: 0 – išjungta, 1 – įjungta. Pavyzdžiui, raidės A kodas yra taškas ir brūkšnys, raidės B – brūkšnys ir du taškai. Šias raides atitinkantis skaitmeninis signalas pavaizduotas 6.6.2 paveiksle.

Praktiniam skaičiavimui naudojama dešimtainė sistema, o skaitmeniniam ryšiui – dvejetainė. Jos pagrindą sudaro du skaitmenys: 0 ir 1. Šia sistema užrašant dešimtainius skaičius, laikomasi tam tikrų taisyklių. Lentelėje nurodyti dešimtaine ir dvejetaine sistema užrašytų skaičių atitikmenys:

Dešimtainis skaičius	Dvejetainis skaičius	4 bitų dvejetainis skaičius
0	0	0000
1	1	0001
2	10	0010
3	11	0011
4	100	0100
5	101	0101
6	110	0110
7	111	0111
8	1000	1000
9	1001	1001
10	1010	1010

Kiekvienas dvejetainės sistemos skaitmuo vadinamas *bitù* (angl. *binary digit* – dvejetainis skaitmuo). Visi skaitmeniniai signalai koduojami keturių bitų arba jų kartotinio (8 bitų, 16 bitų, 32 bitų) ilgio žodžiais. Aštuonių bitų grupė vadinama *báitu* (angl. *byte*) ir žymima raide B. Lentelėje nurodyta, kaip dvejetainiai



6.6.3 pav.

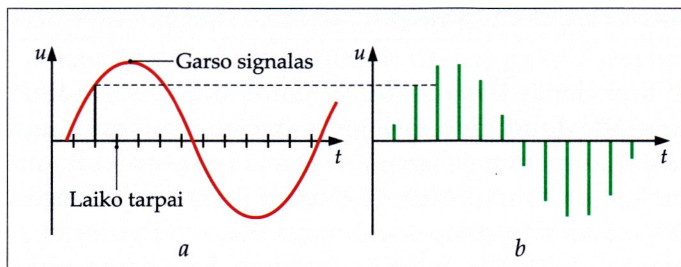
skaičiai užrašomi keturių bitų žodžiais. Vartojami ir stambesni informacijos matavimo vienetai: *kilobáitai* (KB), *megabáitai* (MB), *gigabáitai* (GB).

1 KB = 1024 B; 1 MB = 1024 KB = 1 048 576 B;
1 GB = 1024 MB = 1 048 576 KB = 1 073 741 824 B.

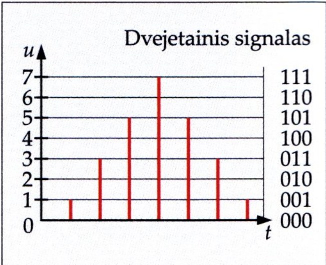
Skaitmeninėse ryšio sistemose atvaizdai ir garsai paverčiami skaitmeniniais signalais, o šie perduodami kaip impulsai. Imtuvai skaitmeninius signalus vėl paverčia atvaizdais. Kaip tai vyksta?

Kalba ir muzika yra tolydžiai kintantys signalai. Mikrofone jie virsta analoginiu signalu (6.6.3 pav.), vėliau sustiprinami ir pakeičiami skaitmeniniu signalu. Analoginius signalus galima pakeisti skaitmeniniais keliais būdais. Dažniausiai taikomas katòdinis impùlsinis moduliãvimas (KIM), susidedantis iš atskirų etapų. Iš pradžių labai mažais laiko tarpais (kas 125 μs) matuojama analoginio signalo amplitudė. Gaunami trumpi impulsai, kurių visuma atitinka pradinio analoginio signalo formą (6.6.4 pav.). Tada šie

6.6.4 pav.



kintamosios amplitudės impulsai paverčiami dvejetainiu signalu (6.6.5 pav.). Dvejetainis kodas perduodamas nuoseklia seka, pradedant nuo vieneto. Skaitmeninį signalą, susidedantį iš vienodos amplitudės, tačiau skirtingos trukmės impulsų (6.6.6 pav.), galima stebėti oscilografo ekrane. Telefono ryšio sistemose skaitmeniniai impulsai perduodami kabeliu. Juos galima paversti infraraudonųjų spindulių impulsais ir perduoti šviesolaidžiais.



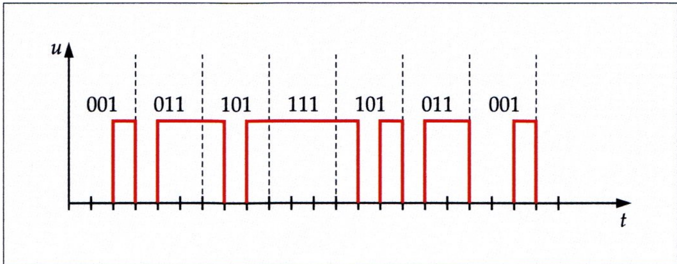
6.6.5 pav.

Imtuve skaitmeninis signalas paverčiamas analoginiu (6.6.2 pav.), taigi viskas vyksta atvirkščia tvarka. Iš pradžių dvejetainiai signalai paverčiami atitinkamos amplitudės impulsais, paskui šie nuosekliai sujungiami ir gaunamas analoginis signalas. Idealiu atveju iš imtuvo išėjęs analoginis signalas turi būti toks pat, koks įėjo.

Skaitmeniniais signalais perduodamas atvaizdas ekrane yra daug geresnės kokybės (aiškesnis). Išorinis arba į televizorių įmontuotas specialus imtuvas šį skaitmeninį signalą priima ir pritaiko televizoriui. Jame įrengta skaitmeninė įvestis atitinkamai pakeičia skaitmeninio signalo formas.

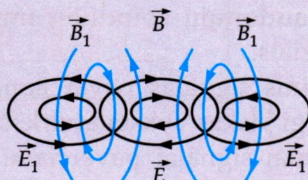
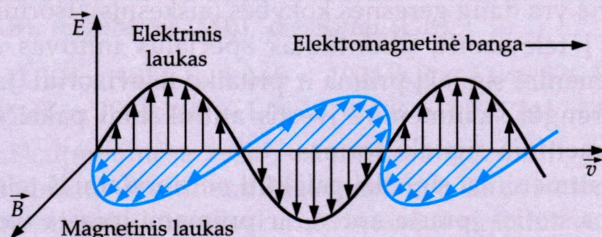
Skaitmeniniai signalai gali būti perduodami iš televizijos stoties įprasta antena ir priimami įprasta vartotojo antena (antžeminė televizija), kabeliu (kabelinė televizija), palydovais (palydovinė televizija) ir internetu (internetinė televizija). Naudojamos ir mišrios sistemos, pavyzdžiui, pirminis skaitmeninis signalas priimamas iš palydovo, o vartotojui perduodamas kabelinės arba antžeminės televizijos tinklu.

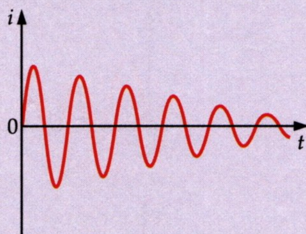
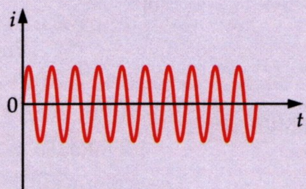
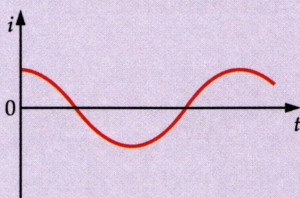
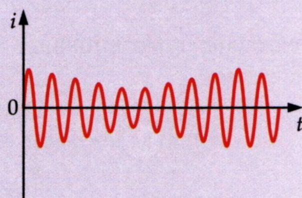
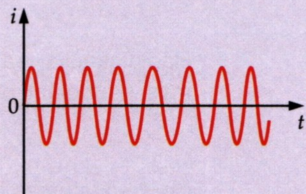
Daugelyje šalių (Didžiõjoje Británijoje, JAV, Súomijoje ir kt.) pereinama prie skaitmeninės antžeminės televizijos. Manoma, kad Lietuvojè 2012 m. bus transliuojamos ne mažiau kaip penkios antžeminės skaitmeninės televizijos programos.

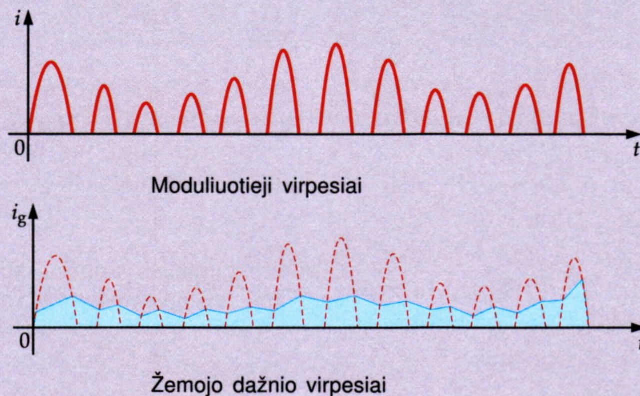
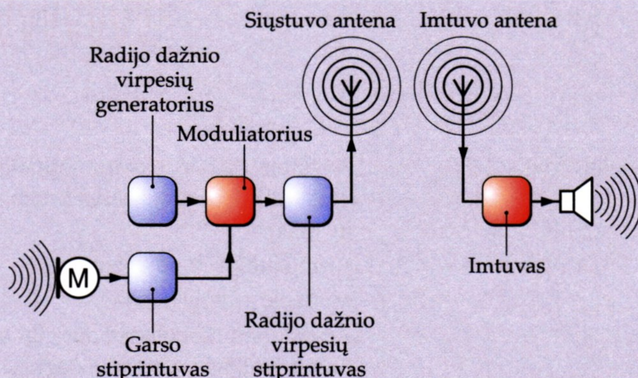


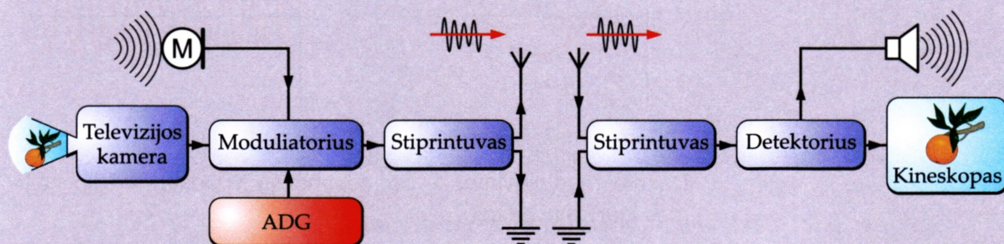
6.6.6 pav.

Skyriaus „Elektromagnetinės bangos" apibendrinimas

Elektromagnetinis laukas	Periodiškai kintančių vienas kitam statmenų laukų (elektrinio ir magnetinio) visuma vadinama elektromagnetiniu lauku. 
Elektromagnetinė banga	Periodiškai kintančių vienas kitam statmenų laukų (elektrinio ir magnetinio) sistema, plintanti į vis didesnes erdvės sritis, vadinama elektromagnetine banga. 
Elektromagnetinių bangų skalė	Elektromagnetinių bangų skalę sudaro visos žinomos elektromagnetinės bangos nuo ilgiausių (šimtų tūkstančių kilometrų) iki trumpiausių (10^{-14} m eilės): • žemojo dažnio bangos, • radijo bangos, • mikrobangos, • infraraudonoji spinduliuotė, • regimoji spinduliuotė, • ultravioletinė spinduliuotė, • rentgeno spinduliuotė, • gama spinduliuotė.
Radijo ryšys	Informacijos perdavimas ir priėmimas radijo bangomis ir mikrobangomis vadinamas radijo ryšiu. Jis būna tokių rūšių: • telegrafo ryšys, • telefono ryšys, • televizinis ryšys, • radiolokacija.

Elektromagnetinių virpesių rūšys	Elektromagnetiniai virpesiai, kurių amplitudė laikui bėgant mažėja, vadinami slopinamaisiais.  Elektromagnetiniai virpesiai, kurių amplitudė ilgainiui nekinta, vadinami neslopinamaisiais. 
Moduliavimas	Aukštojo dažnio elektromagnetinių virpesių susiejimas su žemojo dažnio virpesiais vadinamas moduliavimu. Jis būna dviejų rūšių: • amplitudės moduliavimas; • dažnio moduliavimas. Amplitudės moduliavimas – tai aukštojo dažnio virpesių amplitudės keitimas garsiniu dažniu.  Žemojo dažnio virpesiai  Moduliuotieji virpesiai Dažnio moduliavimas – tai nešančiųjų virpesių dažnio keitimas garsiniu dažniu.  Moduliuotieji virpesiai

Detektavimas	Detektavimu vadinamas žemojo dažnio signalo atkūrimas iš moduliuotųjų aukštojo dažnio virpesių. 
Telefono ryšio struktūrinė schema	
Televizinio ryšio struktūrinė schema	



Radiolokacija	Radiolokacija yra objektų aptikimas ir atstumo iki jų nustatymas naudojant elektromagnetines bangas. $$s = \frac{ct}{2};$$ čia s – atstumas iki objekto, $c = 3 \cdot 10^8$ m/s, t – laikas, praėjęs nuo signalo pasiuntimo iki priėmimo momentų.

Laboratoriniai darbai

Apie fizikos laboratorinius darbus XII klasėje

Fizikos žinios įtvirtinamos sprendžiant uždavinius, atliekant pratybų užduotis ir laboratorinius darbus. Elektros kurso žinioms įtvirtinti vadovėlyje numatyti keturi laboratoriniai darbai, optikos ir atomo fizikos žinioms – du laboratoriniai darbai. Atliekant laboratorinius darbus, reikia mokėti skaičiuoti matavimo paklaidas. Šie gebėjimai ypač svarbūs pasirinkusiems išplėstinį kursą. Primename, kaip skaičiuojamos paklaidos.

Matavimo paklaidų samprata

Atliekant fizikos laboratorinius darbus, tenka matuoti įvairius dydžius, paskui apdoroti matavimo rezultatus. Matavimas – fizikinio dydžio vertės gavimas bandymo metu naudojant matavimo priemones. Matavimas gali būti:

- tiesióginis, kai fizikinio dydžio vertės nustatomos matavimo priemonėmis;
- netiesióginis, kai fizikinio dydžio vertės apskaičiuojamos pagal formules, siejančias tą dydį su kitais fizikiniais dydžiais, kurių vertės nustatomos matuojant tiesiogiai.

Matuojant fizikinius dydžius, neįmanoma gauti absoliučiai tikslaus rezultato. Netikslumų gali atsirasti dėl matavimo prietaisų netikslumo, dėl paties matavimo. Išmatuotos arba apskaičiuotos dydžio vertės nukrypimas nuo tiksliosios vertės vadinamas ***matãvimo pãklaida***. Pagal atsiradimo priežastis paklaidos skirstomos į dvi rūšis:

- *sistemingąsias pãklaidas*, atsirandančias dėl matavimo prietaisų netikslumo, netinkamų matavimo metodų;
- *atsitiktinès pãklaidas*, priklausančias nuo eksperimentuotojo įgūdžių, kruopštumo ir aplinkos poveikio (temperatūros, oro drėgnio ir pan.).

Matuodami labiau atsižvelgsime į sistemingąsias paklaidas.

Matavimo paklaidų skaičiavimas

Tarkime, X – matuojamas fizikinis dydis, X_{ap} – apytikslė to dydžio vertė, t. y. tiesiogiai arba netiesiogiai išmatuota vertė. Išmatuotos apytikslės vertės X_{ap} ir tiksliosios vertės X skirtumo modulis vadinamas ***absoliučiąja matãvimo pãklaida***. Ji žymima ΔX. Didžiausia absoliučioji tiesioginio matavimo paklaida lygi príetaiso absoliučiõsios paklaidõs $\Delta_{pr}X$ ir atskaitõs absoliučiõsios paklaidõs $\Delta_a X$ sumai:

$$\Delta X = \Delta_{pr}X + \Delta_a X.$$

Iš pradžių aptarkime, kaip skaičiuojama prietaiso absoliučioji paklaida. Ją lemia prietaiso konstrukcija (matavimo prietaisų paklaidas žr. 1 lentelėje).

1 lentelė

Eil. Nr.	Matavimo prietaisas	Matavimo riba	Padalos vertė	Absoliučioji prietaiso paklaida
1.	Liniuotė mokyklinė	iki 50 cm	1 mm	±1 mm
	braižomoji	iki 50 cm	1 mm	±0,2 mm
	instrumentinė (plieninė)	20 cm	1 mm	±0,1 mm
	demonstracinė	100 cm	1 cm	±0,5 cm
2.	Matavimo juosta	150 cm	0,5 cm	±0,5 cm
3.	Matavimo cilindras	iki 250 ml	1 ml	±1 ml
4.	Slankmatis	150 mm	0,1 mm	±0,05 mm
5.	Mikrometras	25 mm	0,01 mm	±0,005 mm
6.	Mokyklinis dinamometras	4 N	0,1 N	±0,05 N
7.	Mokomosios svarstyklės	200 g	–	±0,01 g
8.	Sekundmatis	0–30 min	0,2 s	±1 s per 30 min
9.	Barometras aneroidas	720–780 mm Hg	1 mm Hg	±3 mm Hg
10.	Laboratorinis termometras	0–100 °C	1 °C	±1 °C
11.	Mokyklinis ampermetras	2 A	0,1 A	±0,005 A
12.	Mokyklinis voltmetras	6 V	0,2 V	±0,15 V

Norint patiems apskaičiuoti prietaiso absoliučiąją paklaidą, reikia žinoti jo tikslumo klasę. Ji nurodoma prietaiso skalėje arba pase. Pagal tikslumą visi elektros prietaisai skirstomi į septynias klases: 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5; 4. Žinant prietaiso tikslumo klasę (γ_{pr}) ir

visą jo skalę (X_{max}), galima rasti absoliučiąją paklaidą $\Delta_{pr}X$:

$$\Delta_{pr}X = \frac{\gamma_{pr}X_{max}}{100}.$$

Pavyzdžiui, jei ampermetro tikslumo klasė yra 4 ir juo galima išmatuoti 2 A srovės stiprį, tai ampermetro absoliučioji paklaida apskaičiuojama taip:

$$\Delta I_{pr} = 2\,\mathrm{A}\cdot\frac{4}{100} = 0{,}08\,\mathrm{A}.$$

Išsiaiškinkime, kaip skaičiuojama absoliučioji atskaitos paklaida $\Delta_a X$. Ji atsiranda matuojant, pavyzdžiui, netiksliai fiksuojant matavimo prietaisų rodmenis. ***Absoliučioji atskaitos paklaida lygi pusei smulkiausios prietaiso padalos vertės.*** Matuojant laiką, absoliučioji matavimo paklaida lygi sekundmačio arba laikrodžio padalos vertei, o matuojant masę svirtinėmis svarstyklėmis – mažiausio svarsčio, kuris neturi įtakos svarstyklių pusiausvyrai, masei.

Atsižvelgiant į absoliučiąją matavimo paklaidą, matavimo rezultatas užrašomas taip:

$$X = X_{ap} \pm \Delta X.$$

Absoliučioji matavimo paklaida paprastai apvalinama iki vieno reikšminio skaitmens ($\Delta X = 0{,}46 \approx 0{,}5$); skaitinė matavimo rezultato vertė suapvalinama taip, kad paskutinis jos skaitmuo būtų tos pačios eilės kaip paklaidos skaitmuo ($X = 10{,}442 \approx 10{,}4$).

Santykinė paklaida ε lygi matuojamo dydžio absoliučiosios paklaidos ΔX ir to dydžio apytikslės vertės X_{ap} santykiui:

$$\varepsilon = \frac{\Delta X}{X_{ap}}\cdot 100\ \%.$$

Santykinė paklaida rodo matavimo kokybę. Kuo mažesnė santykinė paklaida, tuo tikslesnis matavimas.

Matuojant netiesiogiai, patariama pirmiausia apskaičiuoti santykinę paklaidą. Tai atliekama tokia tvarka. Iš pradžių apskaičiuojamos tiesiogiai matuojamų dydžių absoliučiosios paklaidos, paskui netiesiogiai matuojamo dydžio santykinė paklaida, kuri lygi visų matuojamų dydžių santykinių paklaidų sumai. Pavyzdžiui, jei netiesiogiai matuojamas fizikinis dydis X apskaičiuojamas pagal formulę

$$X = \frac{A}{B},$$

tai santykinė paklaida

$$\varepsilon_X = \varepsilon_A + \varepsilon_B = \frac{\Delta A}{A} + \frac{\Delta B}{B}.$$

Galiausiai randama netiesiogiai matuojamo dydžio absoliučioji paklaida:

$$\Delta X = X_{ap}\varepsilon.$$

Aptarėme pavyzdį, kaip apskaičiuojama netiesioginio matavimo paklaida, kai fizikinis dydis išreiškiamas dviejų fizikinių dydžių santykiu. Tačiau netiesiogiai matuojami fizikiniai dydžiai gali būti išreikšti ir sudėtingesnėmis formulėmis. Kaip apskaičiuojamos santykinės paklaidos kai kuriais kitais atvejais, rodo 2 lentelė.

2 lentelė

Eil. Nr.	Fizikinio dydžio formulė	Santykinės paklaidos formulė
1.	$A = BCD$	$\varepsilon = \frac{\Delta B}{B} + \frac{\Delta C}{C} + \frac{\Delta D}{D}$
2.	$A = \frac{B}{CD}$	
3.	$A = B + C$	$\varepsilon = \frac{\Delta B + \Delta C}{B + C}$
4.	$A = B\sqrt{\frac{C}{D}}$	$\varepsilon = \frac{\Delta B}{B} + \frac{1}{2}\cdot\frac{\Delta C}{C} + \frac{1}{2}\cdot\frac{\Delta D}{D}$

Kiekviename laboratorinių darbų apraše, kuris pateikiamas vadovėlyje, paaiškinta, kaip reikia apskaičiuoti netiesioginio matavimo santykinę paklaidą. Matuojant fizikinius dydžius, galutinio rezultato santykinė paklaida turi būti ne didesnė kaip 5 %. Jeigu ji viršija 10 %, siūloma matuoti dar kartą.

Laboratorinio darbo aprašymas

Aprašant atliktą laboratorinį darbą, siūloma laikytis tokio nuoseklumo:

1. Laboratorinio darbo numeris.
2. Darbo pavadinimas.
3. Darbo tikslas.
4. Darbo priemonės.
5. Praktinio darbo turinys:
   - darbo aprašymas;
   - brėžinys (jeigu reikalingas);
   - ieškomų dydžių ir jų paklaidų formulės;
   - matavimo duomenų lentelės.
6. Galutinis rezultatas, išvada ir kt. (atsižvelgiant į darbo tikslą).

1 laboratorinis darbas. Laidininko savitosios elektrinės varžos matavimas

Darbo tikslas: išmatuoti laidininko savitąją elektrinę varžą.

Teorinis darbo pagrindimas. Savitoji elektrinė varža – laidininko medžiagos charakteristika. Ji priklauso nuo laidininko medžiagos rūšies ir būsenos. Savitąją elektrinę varžą galima išreikšti iš elektrinės varžos formulės:

$$R = \rho \frac{l}{S}; \quad (1)$$

$$\rho = \frac{RS}{l}. \quad (2)$$

Laidininko skerspjūvio plotas

$$S = \frac{\pi d^2}{4}; \quad (3)$$

čia d – laidininko skersmens ilgis. Šią ploto išraišką įrašę į 2 lygybę, gauname:

$$\rho = \frac{\pi R d^2}{4l}. \quad (4)$$

Pritaikę Omo dėsnį grandinės daliai $\left(I = \frac{U}{R}\right)$, gauname formulę, pagal kurią eksperimentiškai galima išmatuoti laidininko savitąją elektrinę varžą:

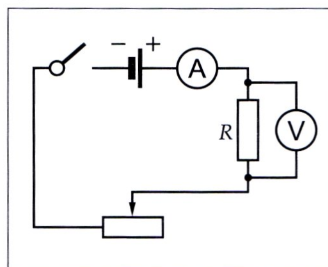
$$\rho = \frac{\pi U d^2}{4Il}. \quad (5)$$

Darbo priemonės: 1) didelės savitosios varžos laidininkas; 2) žemosios įtampos nuolatinės srovės šaltinis; 3) ampermetras; 4) voltmetras; 5) reostatas; 6) jungiklis; 7) jungiamieji laidai; 8) mikrometras; 9) liniuotė.

Darbo eiga

1. Liniuote išmatuokite laidininko ilgį, mikrometru – skersmenį.
2. Pagal 1 paveiksle pavaizduotą schemą sujunkite elektrinę grandinę.
3. Išmatuokite ja tekančios elektros srovės stiprį ir laidininko galų įtampą.
4. Apskaičiuokite laidininko savitosios elektrinės varžos apytikslę vertę.

1 pav.



5. Apskaičiuokite dydžių I, U, l ir d matavimo didžiausias absoliučiąsias ir santykines paklaidas:

$$\Delta I = \Delta_{pr} I + \Delta_a I,\ \varepsilon_I = \frac{\Delta I}{I_{ap}};$$

$$\Delta U = \Delta_{pr} U + \Delta_a U,\ \varepsilon_U = \frac{\Delta U}{U_{ap}};$$

$$\Delta l = \Delta_{pr} l + \Delta_a l,\ \varepsilon_l = \frac{\Delta l}{l_{ap}};$$

$$\Delta d = \Delta_{pr} d + \Delta_a d,\ \varepsilon_d = \frac{\Delta d}{d_{ap}}.$$

6. Apskaičiuokite laidininko savitosios elektrinės varžos matavimo santykinę ir absoliučiąją paklaidą:

$$\varepsilon_\rho = \frac{\Delta \rho}{\rho_{ap}} = \frac{\Delta I}{I_{ap}} + \frac{\Delta U}{U_{ap}} + \frac{\Delta l}{l_{ap}} + \frac{\Delta d}{d_{ap}};\ \Delta\rho = \rho_{ap}\varepsilon_\rho.$$

7. Užrašykite laidininko savitosios elektrinės varžos matavimo rezultatą:

$$\rho = \rho_{ap} \pm \Delta\rho,\ \ \varepsilon_\rho = \ldots\ \%.$$

8. Pagal žinyne pateiktus duomenis nustatykite, iš kokios medžiagos pagamintas laidininkas.

Klausimai ir užduotys ??

1. Kodėl kaitinamųjų elementų medžiagos savitoji elektrinė varža turi būti didelė, o jungiamųjų laidų – maža?

2. Kaip ir kodėl laidininkų savitoji elektrinė varža priklauso nuo temperatūros?

3. Dviejų varinių vielų masė yra vienoda, tačiau pirmosios vielos skersmuo dvigubai ilgesnis negu antrosios. Apskaičiuokite vielų varžų santykį. (16)

2 laboratorinis darbas. Srovės šaltinio elektrovaros ir vidinės varžos matavimas

Darbo tikslas: išmatuoti srovės šaltinio elektrovarą ir vidinę varžą.

Teorinis darbo pagrindimas. Srovės šaltinio elektrovara (E) lygi elektrinės grandinės išorinės (U_i) ir vidinės (U_v) dalies įtampų sumai:

$$E = U_i + U_v = U_i + Ir; \quad (1)$$

čia I – srovės stipris grandinėje, r – srovės šaltinio vidinė varža. Iš 1 formulės išreikškime išorinės dalies įtampą:

$$U_i = E - Ir. \qquad (2)$$

Kai grandinė išjungta ($I = 0$), šaltinio gnybtų įtampa lygi jo elektrovarai:

$$U_i = E. \qquad (3)$$

Vadinasi, norėdami išmatuoti srovės šaltinio elektrovarą, turime prie jo gnybtų prijungti didelės varžos voltmetrą, o elektrinę grandinę išjungti.

Srovės šaltinio vidinę varžą (grandinės vidinę varžą) r išreikškime iš Omo dėsnio uždarajai grandinei (2):

$$r = \frac{E - U_i}{I}. \qquad (4)$$

Matome, kad srovės šaltinio vidinę varžą galima rasti netiesiogiai, matuojant elektros srovės stiprį ir įtampą.

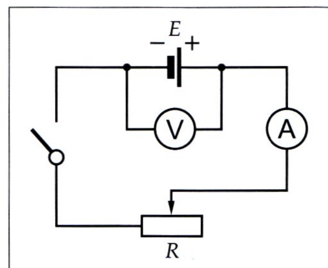
Darbo priemonės: 1) kišeninio žibintuvėlio baterija arba akumuliatorius; 2) voltmetras; 3) ampermetras; 4) reostatas; 5) jungiklis; 6) jungiamieji laidai.

Darbo eiga

1. Pagal 1 paveiksle pavaizduotą schemą sujunkite elektrinę grandinę. Patariame jungti mokyklinį voltmetrą, kurio varža 900 Ω ($R_V \gg r$). Tada matavimo paklaida bus mažesnė – šaltinio elektrovara skirsis nuo įtampos tik dešimtosiomis procento dalimis.
2. Įjungdami ir išjungdami jungiklį, patikrinkite, kaip veikia grandinė.
3. Išjunkite jungiklį ir išmatuokite srovės šaltinio elektrovarą.
4. Įjunkite jungiklį ir pasižymėkite ampermetro bei voltmetro rodmenis.
5. Pagal 4 formulę apskaičiuokite šaltinio vidinę varžą.
6. Pastumkite reostato slankiklį. Nustatykite, kaip pakito ampermetro ir voltmetro rodmenys.
7. Apskaičiuokite srovės šaltinio elektrovaros ir vidinės varžos matavimo absoliučiąją bei santykinę paklaidą:

$$\Delta E = \Delta_{pr}E + \Delta_a E, \qquad \varepsilon_E = \frac{\Delta E}{E_{ap}};$$

$$\Delta I = \Delta_{pr}I + \Delta_a I, \qquad \varepsilon_I = \frac{\Delta I}{I_{ap}};$$



1 pav.

$$\Delta U_i = \Delta_{pr}U_i + \Delta_a U_i, \qquad \varepsilon_{U_i} = \frac{\Delta U_i}{U_{i\,ap}};$$

$$\varepsilon_r = \frac{\Delta r}{r_{ap}} = \frac{2\Delta U_i}{E_{ap} - U_{iap}} + \frac{\Delta I}{I_{ap}}, \ \Delta r = r\varepsilon_r.$$

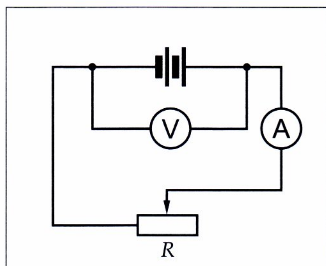
8. Užrašykite srovės šaltinio elektrovaros ir vidinės varžos matavimo rezultatus:

$$E = E_{ap} \pm \Delta E, \quad \varepsilon_E = \ldots \%;$$

$$r = r_{ap} \pm \Delta r, \quad \varepsilon_r = \ldots \%.$$

Klausimai ir užduotys

1. Kodėl voltmetro rodmenys, įjungus ir išjungus jungiklį, skiriasi?



2 pav.

2. 2 paveiksle pavaizduota uždarosios elektrinės grandinės schema. Kaip pakis ampermetro ir voltmetro rodmenys, kai reostato slankiklį pastumsime į kairę; į dešinę?

3. Norint nustatyti srovės šaltinio elektrovarą ir varžą, pagal 2 paveiksle pavaizduotą schemą buvo sujungta elektrinė grandinė. Ampermetras rodė 0,5 A, o voltmetras – 4 V. Pakeitus reostato slankiklio padėtį, ampermetras rodė 0,9 A, o voltmetras – 3,6 V.

a) Apskaičiuokite srovės šaltinio vidinę varžą. (1 Ω)

b) Apskaičiuokite šaltinio elektrovarą. (4,5 V)

c) Nustatykite, į kurią pusę (į dešinę ar į kairę) buvo pastumtas slankiklis.

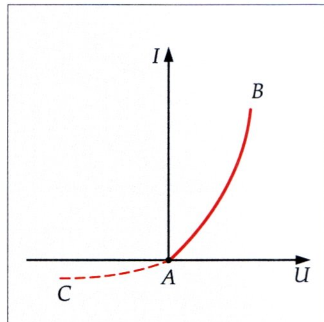
3 laboratorinis darbas. Puslaidininkinio diodo voltamperinės charakteristikos gavimas

Darbo tikslas: ištirti puslaidininkinio diodo tiesioginės ir atgalinės srovės stiprio priklausomybę nuo įtampos.

Teorinis darbo pagrindimas. Puslaidininkiniu diodu vadinamas prietaisas, turintis vieną skylinę-elektroninę sandūrą ir du išvadus, kuriais jungiamas į elektrinę grandinę. Puslaidininkiniai diodai gaminami iš seleno, germanio, silicio ir kitų medžiagų. Skylinė-elektroninė sandūra sudaroma įlydant į germanio

paviršių indžio. Indžio atomams skverbiantis į germanį, jo paviršiuje susidaro skylinio laidumo sritis. Kita germanio sritis, į kurią indžio atomai nepatenka, tebėra elektroninio laidumo. Taip tarp skirtingų laidumo sričių susidaro skylinė-elektroninė sandūra. Siekiant išvengti aplinkos poveikio (šviesos, oro), diodai dedami į hermetiškus apsauginius apvalkalus.

Diodu tekančios elektros srovės stiprio priklausomybę nuo įtampos rodo voltamperinė charakteristika (1 pav.). Laidžiosios krypties voltamperinę charakteristiką vaizduoja grafiko dalis *AB*, užtvarinės krypties – grafiko dalis *CA*.



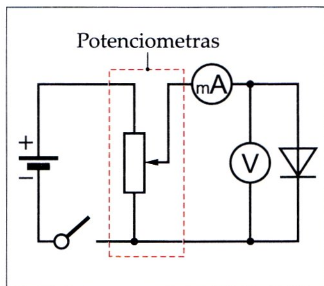
1 pav.

Darbo priemonės: 1) srovės šaltinis; 2) puslaidininkinis diodas D7Ž; 3) lygintuvas, skiriamas praktikos darbams; 4) miliampermetras; 5) voltmetras; 6) šliaužiklinis reostatas; 7) jungiklis; 8) jungiamieji laidai.

Darbo eiga

1. Pagal 2 paveiksle pavaizduotą schemą į elektrinę grandinę sujunkite miliampermetrą ir diodą. Diodą junkite laidžiąja kryptimi, atsižvelgdami į pliuso ir minuso ženklus, nurodytus ant diodo korpuso.

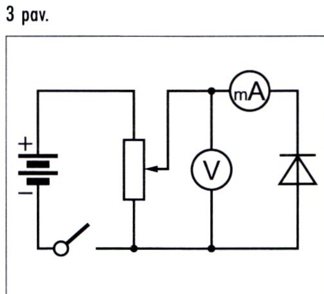
2. Paskui prijunkite srovės šaltinį (lygintuvą), jungiklį ir potenciomètrą[1] – įtaisą, skiriamą bet kuriai nuolatinės įtampos daliai tiekti į elektrinę grandinę. Jį dar galima vadinti įtampos dalytuvù. Potenciometras gaminamas iš didelės varžos laidininko ir turi slankiklį. Įtampa grandinės daliai su diodu tiekiama per potenciometrą ir matuojama voltmetru (jo skalės viršutinė riba 3 V).



2 pav.

3. Stumdami potenciometro slankiklį, įtampą didinkite maždaug kas 0,02 V. Voltmetro ir miliampermetro rodmenis kaskart surašykite 1 lentelėje (persibraižykite ją savo sąsiuvinyje). Iš pradžių naudokite miliampermetrą su 7,5 mA skale, paskui su 15 mA ir 30 mA skalėmis.

3 pav.



1 lentelė

U, V								
I, mA								

4. Sujunkite elektrinę grandinę pagal 3 paveiksle pavaizduotą schemą. Įtampa grandinės daliai su diodu tiekiama per potenciometrą ir matuojama voltmetru, kurio skalės viršutinė riba 15 V. Srovės stipris matuojamas miliampermetru (jo skalės viršutinė riba 1,5 mA).

[1] 2 paveiksle potenciometras pažymėtas raudona brūkšnine linija.

5. Įtampą didinkite kas 1 V ir matuokite diodu tekančios elektros srovės stiprį. Voltmetro ir ampermetro rodmenis surašykite 2 lentelėje (savo sąsiuvinyje).

2 lentelė

U, A									
I, mA									

6. Remdamiesi abiejų lentelių duomenimis, nubraižykite elektros srovės stiprio priklausomybės nuo įtampos grafiką. *Ox* ašyje atidėkite įtampą voltais, *Oy* ašyje – elektros srovės stiprį miliamperais. Rekomenduojame tokį įtampos mastelį: tiesioginės 1 cm – 0,1 V, atgalinės 1 cm – 1 V. Srovės stiprio mastelis galėtų būti toks: tiesioginės 1 cm – 2 mA, atgalinės 1 cm – 0,2 mA.

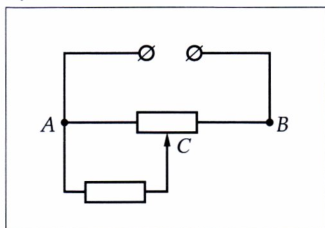
Klausimai ir užduotys

1. Kodėl, ilgiau tekant tiesioginei srovei, diodo varža kinta?

2. Kodėl tiesioginės ir atgalinės srovės stipris matuojamas pagal skirtingas prietaisų jungimo schemas?

3. Pažymėkite nubraižytos voltamperinės charakteristikos sritis, kuriose diodo varža kinta mažiausiai. Atsakymą pagrįskite.

4 pav.



4. Potenciometras įjungtas į grandinę taip, kaip pavaizduota 4 paveiksle. Laidininko *AB* varža 4 kΩ, įtampa U_0 = 220 V. Tarp potenciometro slankiklio *C* ir gnybto *A* įjungta apkrova, kurios varža 10 kΩ. Apskaičiuokite apkrovos gnybtų įtampą. (100 V)

4 laboratorinis darbas. Rezonanso elektrinėje grandinėje tyrimas

Darbo tikslas: ištirti elektros srovės stiprio priklausomybę nuo kintamosios įtampos dažnio ir aktyviosios varžos įtaką rezonanso kreivės formai.

Teorinis darbo pagrindimas. Virpesių kontūrą sudaro kondensatorius ir ritė. Prie šio kontūro prijungus kin-

tamosios įtampos šaltinį (1 pav.), kontūro elementais ima tekėti kintamoji elektros srovė, kurios stipris priklauso ne tik nuo kintamosios įtampos amplitudės, bet ir nuo dažnio. Kai įtampos kitimo dažnis mažas, kondensatoriaus talpinė varža kintamajai srovei yra didelė:

$$X_C = \frac{1}{\omega C}.$$

Dažniui didėjant, ši varža mažėja, todėl elektros srovė stiprėja. Kai įtampos kitimo dažnis yra mažas, ritės induktyvioji varža taip pat maža:

$$X_L = \omega L.$$

Dažniui didėjant, ši varža taip pat didėja. Dažniui įgijus tam tikrą vertę ω_0, ritės induktyvioji varža susilygina su kondensatoriaus talpine varža:

$$X_L = X_C.$$

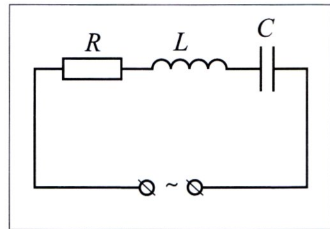
Toliau didinant dažnį, ritės induktyvioji varža pasidaro didesnė už kondensatoriaus talpinę varžą ir kontūru tekanti srovė ima silpnėti. Vadinasi, srovės stipris grandinėje didžiausią vertę įgyja tada, kai prie virpesių kontūro prijungtos kintamosios įtampos dažnis ω sutampa su kontūro savuoju dažniu ω_0:

$$\omega = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}. \quad (1)$$

Tai yra pagrindinė elektrinio rezonanso sąlyga.

Elektros srovės stiprį virpesių kontūre, esant rezonansui, riboja ritės laidų aktyvioji varža R:

$$I_m = \frac{U_m}{R}.$$



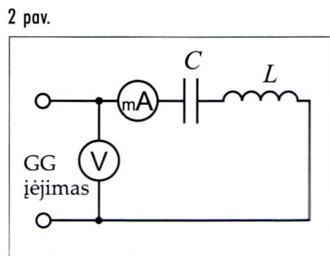
1 pav.

Darbo priemonės: 1) mokyklinis arba laboratorinis garso generatorius; 2) avometras; 3) mokyklinis kintamosios įtampos voltmetras; 4) 6 μF talpos popierinis kondensatorius; 5) išardomojo elektromagneto ritė; 6) jungiamieji laidai.

Darbo eiga

1. Sujunkite elektrinę grandinę pagal 2 paveiksle pavaizduotą schemą. Garso generatoriaus išėjimo įtampą nustatykite lygią 5 V.

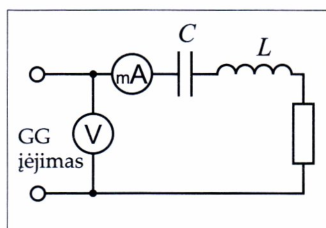
2. Kintamosios įtampos dažnį keiskite nuo 200 Hz iki 3000 Hz, o generatoriaus išėjimo įtampą palaikykite pastovią. Matavimo rezultatus surašykite 1 lentelėje, kurią persibraižykite savo sąsiuvinyje.

2 pav.


1 lentelė

ν, Hz	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000
I_1, A															

3. Nubraižykite elektros srovės stiprio priklausomybės nuo dažnio grafiką. Nustatykite kontūro rezonanso dažnį ω_0.



3 pav.

4. Sujunkite elektrinę grandinę pagal 3 paveiksle pavaizduotą schemą, t. y. į pirminę grandinę (2 pav.) papildomai įjunkite 10–30 kΩ varžos varžą. Generatoriaus išėjimo įtampą palikite tą pačią, lygią 5 V.

5. Kintamosios įtampos dažnį keiskite nuo 200 Hz iki 3000 Hz, o generatoriaus išėjimo įtampą palaikykite pastovią. Matavimo rezultatus surašykite 2 lentelėje (ją persibraižykite savo sąsiuvinyje).

2 lentelė

ν, Hz	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000
I_2, A															

6. Pagal lentelės duomenis toje pačioje koordinačių sistemoje nubraižykite antrą rezonanso kreivę.

Klausimai ir užduotys

1. Kokia yra pagrindinė elektrinio rezonanso virpesių kontūre sąlyga?

2. Kaip elektrinis rezonansas kintamosios srovės grandinėje priklauso nuo aktyviosios varžos?

3. Pirmojo virpesių kontūro parametrai yra C_1 = 160 pF, L_1 = 5 mH, o antrojo C_2 = 100 pF, L_2 = 4 mH. Ar gali šiuose kontūruose vykti elektrinis rezonansas? Atsakymą pagrįskite.

4. Ritė, kurios induktyvumas 50 mH, nuosekliai sujungta su 20 μF talpos kondensatoriumi. Kokio dažnio kintamoji elektros srovė turi tekėti šiuo virpesių kontūru, kad įvyktų elektrinis rezonansas? (160 Hz)

5. Ar pasikeistų virpesių rezonanso dažnis (žr. 4 uždavinio sąlygą), jei atsižvelgtume į ritės aktyviąją varžą, kuri lygi 10 Ω? Atsakymą pagrįskite.

Priedai

1. MEDŽIAGŲ TANKIS

Kietieji kūnai, $\times 10^3$ kg/m^3

Alavas	7,3	Plienas	7,8
Aliuminis	2,7	Sidabras	10,5
Chromas	7,2	Švinas	11,3
Ledas	0,9	Varis	8,9

Skysčiai, $\times 10^3$ kg/m^3

Alkoholis	0,79	Nafta	0,80
Benzinas	0,70	Vanduo	1,0
Gyvsidabris	13,6	Žibalas	0,80

Dujos (normaliomis sąlygomis), kg/m^3

Azotas	1,25	Oras	1,29
Deguonis	1,43	Vandenilis	0,09

2. ŠILUMINĖS MEDŽIAGŲ SAVYBĖS

Kietieji kūnai

Medžiaga	Savitoji šiluma, kJ/(kg · K)	Lydymosi temperatūra, °C	Savitoji lydymosi šiluma, kJ/kg
Alavas	0,23	232	59
Aliuminis	0,88	600	380
Ledas	2,1	0	330
Plienas	0,46	1400	82
Sidabras	0,23	960	87
Švinas	0,13	327	25
Varis	0,38	1083	180

Skysčiai

Medžiaga	Savitoji šiluma, kJ/(kg · K)	Virimo temperatūra, °C	Savitoji garavimo šiluma[1], MJ/kg
Alkoholis	2,4	78	0,85
Gyvsidabris	0,12	357	0,29
Vanduo	4,2	100	2,3

Dujos

Medžiaga	Savitoji šiluma[2], kJ/(kg · K)	Kondensacijos temperatūra[2], °C
Azotas	1,0	–196
Deguonis	0,92	–183
Oras	1,0	–
Vandenilis	14	–252

[1] Kai slėgis normalus.
[2] Kai slėgis pastovus.

3. SAVITOJI KURO DEGIMO ŠILUMA, MJ/kg

Akmens anglys	29	Dyzeliniai degalai	42
Alkoholis	29	Medis	10
Benzinas	46	Žibalas	46

4. DIELEKTRINĖ MEDŽIAGŲ SKVARBA

Alyva	2,5	Vanduo	81
Parafinas	2,1	Žėrutis	6
Stiklas	7	Žibalas	2,1

5. METALŲ IR LYDINIŲ SAVITOJI VARŽA (kai temperatūra lygi 20 °C)

Medžiaga	**$\rho \times 10^{-8}$, $\Omega \cdot m$ arba $\rho \times 10^{-2}$, $\Omega \cdot mm^2/m$**
Aliuminis	2,8
Konstantanas	50
Nichromas	110
Nikelinas	42
Plienas	12
Sidabras	1,6
Švinas	21
Varis	1,7
Volframas	5,5
Žalvaris	7,1

6. KARTOTINIAI IR DALINIAI VIENETAI

Santykis su pagrindiniu vienetu	**Dėmuo**	**Simbolis**	**Santykis su pagrindiniu vienetu**	**Dėmuo**	**Simbolis**
10^{12}	tera-	T	10^{-2}	centi-	c
10^{9}	giga-	G	10^{-3}	mili-	m
10^{6}	mega-	M	10^{-6}	mikro-	μ
10^{3}	kilo-	k	10^{-9}	nano-	n
10^{2}	hekto-	h	10^{-12}	piko-	p
10	deka-	da	10^{-15}	femto-	f
10^{-1}	deci-	d	10^{-18}	ato-	a

Naudota literatūra

Charlot R., Cros A., Walter C. Fondaments de la physique 2^{e} CT. Paris, 1978.
Dindorf W. Fizika i astronomija. Moja fizika. Warszawa, 2002.
Fisica Y Quimica 3 eso / *Baeza D., Delgado A. M., Galindo E.* Barselona, 1995.
Fizika i astronomija 7 / *Pinskij A. A., Razumovskij V. G., Dik J. I.* i dr. Moskva, 1998.
Focus op de fysica / *Clippelier K. D., Frans K., Hofkens J.* België, 1991.
Gamtos mokslai / *Lale H., Daniel A., Duke M.* Vilnius, 1997.
Garcia T., Ebede E. Fisica eso 4 2n. Barselona, 1998.
Herbert A., Bodin J. Sciences physiques 21. Paris, 1989.
Kabardinas O. Fizika: Informacinė medžiaga. Kaunas, 1998.
Karazija R. Fizika humanitarams. I dalis. Klasikinė fizika. Vilnius, 1996.
Kasjanov V. Fizika 10. Moskva, 2002.
Miakiševas G., Buchovcevas B. Fizika: Vadovėlis XII klasei. Kaunas, 1993.
Pfysicue chimie 2de / *Bouland A., Caurvet J., Fay J.* Paris, 1997.
Physik 9/10: Natur und Technik / *Heepmann B., Kunze W., Muckenfuss H.* u. a. Berlin, 1992.
Rymkevičius A. Fizikos uždavinynas IX–XII klasei. Kaunas, 1993.
Vičas S. Fizikos uždavinynas XI–XII klasei. Kaunas, 2000.

Panaudotų iliustracijų šaltiniai

Viršelio nuotraukos

www.shutterstock.com	Image ID: 19180495 © Vibrant Image Studio
www.shutterstock.com	Image ID: 13330135 © Ovidiu Iordachi
www.shutterstock.com	Image ID: 1447559 © Dioscoro L. Dioticio
www.shutterstock.com	Image ID: 5704624 © KennStilger47
www.shutterstock.com	Image ID: 21780178 © Yellowj
www.shutterstock.com	Image ID: 20558495 © knotsmaster
www.shutterstock.com	Image ID: 7458934 © silver-john
www.shutterstock.com	Image ID: 4627426 © Elena Elisseeva
www.shutterstock.com	Image ID: 13587202 © Orla
www.shutterstock.com	Image ID: 18423157 © Tom Mc Nemar
www.shutterstock.com	Image ID: 19199191© Vladir09
www.shutterstock.com	Image ID: 9279736 © Sergey Chushkin
www.shutterstock.com	Image ID: 20309704 © amygdala imagery

Skyrių nuotraukos

Iš viršaus į apačią, iš kairės į dešinę.

1 skyrius (p. 6–7)

www.shutterstock.com	Image ID: 8996593 © sarka
Elvio Zovės nuotraukos (5)	
www.shutterstock.com	Image ID: 18206779 © DDCoral
www.shutterstock.com	Image ID: 19180495 © Vibrant Image Studio

2 skyrius (p. 60–61)

www.shutterstock.com	Image ID: 21775510 © jocicalek
Elvio Zovės nuotrauka	
www.shutterstock.com	Image ID: 12728857 © Alessio Ponti

3 skyrius (p. 94–95)

www.shutterstock.com	Image ID: 12960583 © Rey Kamensky
www.stockxpert.com	Image #530188 © JoLin
www.sxc.hu	Image#744040 © cecilek
Elvio Zovės nuotrauka	
www.shutterstock.com	Image ID: 17774374 © zhu difeng
www.shutterstock.com	Image ID: 14535016 © Nikolay Tarkhanov

4 skyrius (p. 134–135)
www.sxc.hu Image#206563 © LotusHead
www.istockphoto.com File #: 4288488 © smartstock
http://en.wikipedia.org/wiki/Induction_heating
http://en.wikipedia.org/wiki/Maglev_train
www.shutterstock.com Image ID: 7458934 © silver-john
www.shutterstock.com Image ID: 20914036 © Serp
www.shutterstock.com Image ID: 9934576 © iNNOCENt

5 skyrius (p. 164–165)
www.shutterstock.com Image ID: 22648207 © Andrew Buckin
Elvio Zovės nuotraukos (3)
www.shutterstock.com Image ID: 27023782 © delihayat
www.shutterstock.com Image ID: 19068949 © PavleMarjanovic
www.shutterstock.com Image ID: 8115895 © Oralleff

6 skyrius (p. 208–209)
www.shutterstock.com Image ID: 13921696 © Istvan Csak
www.shutterstock.com Image ID: 4349677 © CRWPitman
www.shutterstock.com Image ID: 17983165 © Alexey Arkhipov
www.shutterstock.com Image ID: 19199191 © Vladir09
© A. S. Popov Central Museum of Communications, St. Petersburg
www.shutterstock.com Image ID: 15880624 © Alexandru
www.shutterstock.com Image ID: 615961 © Dale A Stork

Nuotraukos prie teksto

1.2.1 pav., 1.2.4 pav., 1.5.2 pav., 1.6.3 pav., 1.9.3 pav., 1.10.1 pav., 1.10.2b pav., 1.10.2c pav., 2.4.3 pav., 3.3.4b pav., 3.3.6a pav., 3.3.7a pav., 3.4.1a pav., 3.8.5 pav., 5.10.1 pav., 5.10.2 pav., 5.10.3 pav. Elvio Zovės nuotraukos
Džeimsas Preskotas Džaulis http://en.wikipedia.org/wiki/James_Prescott_Joule
1.9.4 pav. www.shutterstock.com Image ID: 12115216 © Four Oaks
1.10.2a pav. www.shutterstock.com Image ID: 8996593 © sarka
1.10.4 pav. www.shutterstock.com Image ID: 22810201
2.1.8 pav. © „SOHO (ESA & NASA)"
2.7.2a pav. www.stockxpert.com Image #3456531 © Eraxion
Heikė Kamerlingas Onesas http://en.wikipedia.org/wiki/Heike_Kamerlingh_Onnes
3.8.1a pav. www.shutterstock.com Image ID: 523182 © David Asch
3.8.1b pav. www.shutterstock.com Image ID: 1678540 © Marinko Tarlac
3.8.2 pav. www.istockphoto.com File #: 4085559 © switas
3.8.3 pav. http://www.unusualresearch.com ©Nebojsa Kovacevic
3.8.4 pav. www.sxc.hu Image ID: 744040 © cecile k
3.8.6 pav. www.stockxpert.com Image #530188 © JoLin
3.8.7 pav. http://www.istockphoto.com File #: 3743493 © ilse1603
4.4.5 pav. http://en.wikipedia.org/wiki/Induction_heating
4.6.3 pav. www.istockphoto.com File#4288488 © JoLin
4.8.1a pav. http://en.wikipedia.org/wiki/Maglev_train
4.8.4 pav. www.sxc.hu Image ID: 206563 © Lotus Head
5.1.1a pav. www.shutterstock.com Image ID: 22648207 © Andrew Buckin
5.9.1 pav. www.shutterstock.com Image ID: 19068949 © PavleMarjanovic
6.2.2 pav. www.istockphoto.com File #: 3337186 © PEDRE
6.2.3 pav. www.shutterstock.com Image ID: 615961 © Dale A Stork
6.2.4 pav. www.shutterstock.com Image ID: 17983165 © Alexey Arkhipov
6.2.5 pav. www.shutterstock.com Image ID: 15880624 © Alexandru
6.2.6a, b, c, d pav. Copyright: NASA/Goddard Space Flight Center Scientific Visualization Studio
6.4.3 pav. © A. S. Popov Central Museum of Communications, St. Petersburg
6.4.4a pav www.shutterstock.com Image ID: 4349677 © CRWPitman
6.4.4b pav. www.shutterstock.com Image ID: 13921696 © Istvan Csak
6.4.4c pav www.shutterstock.com Image ID: 191991 © Vladir09

Dalykinė ir pavardžių rodyklė

Tai – pirmoji fizikos vadovėlio XII klasei knyga, skiriama mokiniams, kurie pasirinko išplėstinį fizikos kursą. Joje pateikiamos šios temos: nuolatinė elektros srovė, magnetinis laukas, elektros srovė įvairiose terpėse, elektromagnetinė indukcija, elektromagnetiniai virpesiai, elektromagnetinės bangos.

Kiekvienas skyrius baigiamas pažintine tema. Skaitydami ją, sužinosite, kokių laimėjimų pasiekė šiuolaikinis mokslas ir technika, koks yra fizikos vaidmuo įvairiose žmogaus gyvenimo srityse.

Knygos pabaigoje pateikiami keturi laboratoriniai darbai.

ISBN 978-5-430-05446-5

